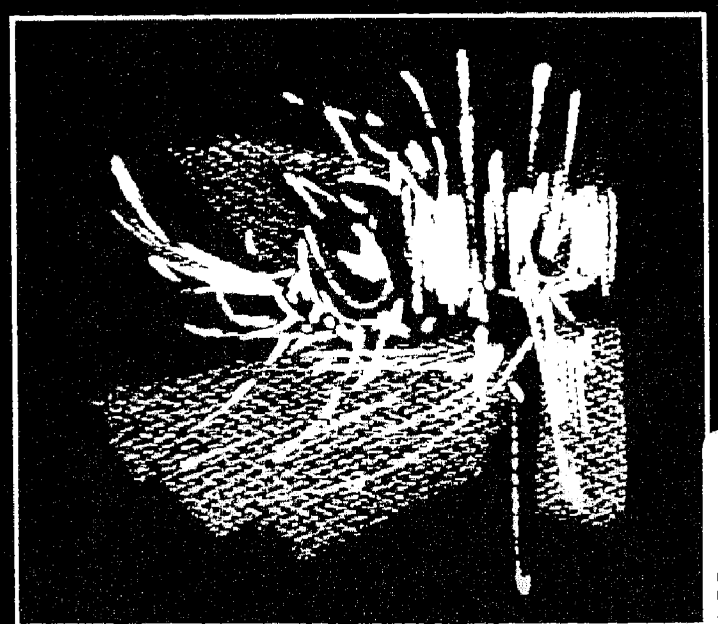
ليونارد راستريغين

مملكة الفوضى

محاولة في فهم آليات عمل المصادفة والسبرنيتية



ة :
ي عبد الرحمن



دار الطليعة - بيروت



مملكة الفوضى

بيروت ـ لبنان
ص . ب 111813
تلفون 309470
314659
فاكس 309470

الطبعة الأولى
أيار (مايو) 1995

ليونارد راستريغين

مملكة الفوضى

محاولة في فهم
آليات عمل المصادفة والسبرنيتية

ترجمة :
د. عبد الهادي عبد الرحمن

دار الطليعة للطباعة والنشر
بيروت

هذا الكتاب ترجمة كاملة عن الإنجليزية للكتاب الروسي:
This Chancy, Chancy, Chancy World
by L. Rastrigin
Mir Publishers, Moscow
3rd Edition 1988

ما هي المصادفة؟

سؤال تمهيدي

قبل أن ننطلق في رحلتنا إلى عالم الصدفة، أعتقد أنه من الأفضل لنا أن نرى كيف تعرِّف المدارس المختلفة المصادفة؟

اتجهت مباشرة إلى معجمي الفلسفي[1]، فقرأت كلمة جسورة كمدخل تعريف تقول: **المصادفة هي الضرورة**...، انفجرت شكوكي للحظات، لكنني فزعت عندما تقدم التعريف ليقول بأن المصادفة هي **اللاجوهرية**: «لا تبرز المصادفة من جوهر أي ظاهرة...».

بعد هذه الجملة القاطعة في المعجم الفلسفي، يبدو أنه لا حاجة لكتابة كتاب عن المصادفة. وعلى كل حال، تتعامل كتب العلم المدرسية الشائعة فقط مع المعلومات الضرورية، لا المعلومات المثيرة للحيرة. بصراحة مطلقة، إنَّ ما جعلني ألغ بيدي داخل الموضوع هو أفكار كهذه. يحتاج الأمر - فعلاً - إلى وضع كتاب عن الصدفة.

عضضت على أسناني، وحاولت البحث في أحد مراجعي. كان هذه المرة كليمنت تيميريازيف، وقد أثارت وجهة نظره المحددة المطلقة واسعة الانتشار في نفسي بعض المتعة. يقول: «... ما هي الصدفة؟. كلمة فارغة تستخدم لتخفي الجهل. حجة البليد. هل يفترض أحد حقيقة أن المصادفة موجودة في الطبيعة؟ وهل هي محتملة؟ وهل من الممكن لأي فعل أن يحدث دون سبب؟[2]..». حقاً يمكن التماس عذر لتيميريازيف الذي عاش في زمن طفولة العلم، ولم يفكر أحد آنذاك في المصادفة.

بعد هذا العرض الفروسي لتعريف المصادفة، كان من المستحيل ألا نكتب كتاباً عن الموضوع ولو فقط من أجل «إعادة تأهيله»، وإلا كان علينا أن نضع نظرية الاحتمالات والإحصاء الرياضي في خانة «حجة البليد»!!.

من التعريفين السابقيْن تبدو الصدفة شيئاً مخجلاً وغير جوهري، شيئاً لا يمكن التحدث عنه في مجتمع مهذب. وخلف الاثنين تكمن بعض الأفكار التربوية مثل التي تقول: «اتركوا المصادفة «القذرة» وحدها أيها الأطفال. آه!! لا تلمسوها، لكي لا تلوث أيديكم. تعالوْا هنا، والعبوا بهذا اليقين

---

(1) المعجم الفلسفي (بالروسية)، موسكو 1968 م، ص 323.

(2) في عرض موجز للنظرية الداروينية.

الجميل، اليقين العجوز. أرأيتم الآن كم هو رائع ونظيف ومباشر؟!. إنه الطريق الآن، هنا وهناك». ويتلقين الأطفال هذا النوع من التعليم، فإنهم يصدقون أن المصادفة أمر غير حقيقي، حيث إن اليقين، نعم اليقين هو بغيتنا الآن. فلو اتبعت الطريق ووصلت، فهذا هو اليقين، لكنك إن انحرفت عن الطريق وكسرت أنفك، فالحظ وحده هو المسئول. المصادفة هي المسئولة.

تشبه تلك النظرة أحد وَجْهَي قطعة نقدية: نرى وجهاً واحداً فقط على الدوام، ويحدث أن يكون الوجه غير المطلوب، الوجه المزعج والمضجر. لسوء الحظ إن الطريق الشائك لتقدم البشرية مزروع بوجه القطعة ذاك، أي مزروع بالمصادفة[1]، وقد ورثنا نظرة تشاؤمية عن الصدفة بسبب كثير من الأنوف المكسورة التي يخافها كل تاريخ الإنسانية المؤلم دائماً.

ما هو الدور الذي تلعبه المصادفة في حياتنا؟ لو فكرت في هذا، للاحظت كيف تعتمد حياتنا كثيراً عليها، فالصدف تهاجمنا من كل مكان.

تعتبر المصادفة في العلم والتكنولوجيا ـ عموماً ـ كعدو، كعائق يشوش الاختبارات والتجارب الدقيقة، فهي تضبب رؤيتنا للمستقبل القريب، وتجعل توقعاتنا للمستقبل البعيد مستحيلة كلياً (مثل تنبؤات الطقس ذات الشهرة السيئة). لا يعوق تدخل الصدفة الروابط بين النقاط البعيدة المنفصلة فحسب، بل ويقطعها أيضاً. حتى في الحياة اليومية، يتسبب الحظ في قدر كاف من التعاسة.

لقد طال عمر الإنسان عندما رفع يديه ضد الصدفة. حارَبَها على جبهتين: **الأولى**: تتميز بمحاولة اكتشاف أسباب حدوثها للتخلص منها كلياً. فحتى الوقت الحديث ـ مثلاً ـ كان يعتقد أن نوع الجنين ـ ذكراً كان أم أنثى ـ هو موضوع صدفة كاملة. استطاع علماء الوراثة الآن أن يكشفوا مبادىء تحديد الجنس. ما فعله هؤلاء في الحقيقة هو انتزاع أحد أسرار الطبيعة، وبهذا تغلبوا على عنصر من عناصر المصادفة، التي كانت ذريعة من ذرائع جهلنا.

في الحياة والعلم، تتكرر كثيراً مواقف مشابهة، مثل التي جعلت تيميريازيف يكتب جملته الغاضبة حينما عرَّف المصادفة باللاسببية، لكنها في الحقيقة ليست بالمعنى نفسه. ففي الواقع يكون لكل حدث سبب واضح، أي يمكن اعتبار أي حدث هو نتيجة أو أثر لسببه، وهذا السبب بدوره هو تأثير سبب آخر، وهكذا. ليست هناك صعوبة محددة عندما تكون سلسلة الأسباب والنتائج بسيطة وظاهرة ويمكن فحصها بيسر. وفي مثل هذه الحالة، لا يمكن اعتبار النتيجة النهائية كحدث صدفة. فلو سُئلنا ـ مثلاً ـ إن كانت قطعة النقد ستسقط على الأرض أم تصعد إلى السقف إذا رميتْ؟، ستكون إجابتنا الكاملة مباشرة، حيث يعرف الكل ماذا سيحدث، وحيث لن يكون للمصادفة أي دور هنا. بيد أنه إذا كانت سلسلة السبب ـ النتيجة معقدة، وتختفي منها بعض الأجزاء، فسيصبح الحدث «غير متوقع» ويقال آنئذٍ إنه «حدث مصادفة».

افترض على سبيل المثال، أننا نريد أن نعرف إن كانت القطعة النقدية سترينا «الصورة أم الكتابة»؟، وهنا يمكن لنا أن نكتب وصفاً دقيقاً لسلسلة الأسباب والنتائج. ومع هذا، علينا أن ندرس

---

(1) سنرى ذلك لاحقاً.

عدداً من العوامل مثل: معدل نبض رامي القطعة، حالته النفسية... إلخ. من المستحيل عملياً القيام بمثل هذه الفحوص؛ لأننا لا نعرف - مثلاً - كيف نقيس الحالة النفسية للرامي. ولهذا - على الرغم من أن السبب لا قيمة له هنا - فإننا نظل غير قادرين على توقُّع النتيجة. هنا يصبح الحدث غير متوقع بسبب تعقيد سلسلة السبب - النتيجة. بمعنى آخر يصبح «حدث مصادفة».

لكن ما معنى كلمات كـ «حدث لا يمكن توقعه»؟ هل أننا لا نستطيع بالفعل أن نقول شيئاً عنه؟ وهل نحن مضطرون للاستسلام في كل مرة تواجهنا فيها المصادفة؟!

بالطبع لا، فمنذ زمن طويل لاحظ الناس أن المصادفة مليئة بخصائص محددة، وبأن كثيراً يمكن أن يقال عن أي حدث غير متوقع. فعلى ضوء خبرتنا بالنسبة لرمي قطع النقود، نحن الآن قادرون على القول التقريبي بأن نصف النتائج ستكون «صوراً» والنصف الآخر «كتابة»، ومن ثم يمكن فحص المصادفة، بل وينبغي أن تُدرس. وفي الحقيقة كانت بدايات نظرية الاحتمالات: الدراسة الرياضية لحوادث المصادفة، معروفة منذ القرن السابع عشر. وتشكل هذه الأخيرة الجبهة الثانية لكفاح الإنسان ضد الصدفة. وفي تلك الحالة ينصب العمل على كشف القوانين التي تحكم عملها. ولا تجعل دراسة مثل هذه القوانين في حد ذاتها حدث الصدفة أقل مصادفة، وإنما تمدنا بصورة واضحة للبنية الداخلية العائدة لها، وبمعرفتنا لهذه البنية نستطيع أن نخطط لخوض معركة ناجحة ضد «لاتوقعية حدث المصادفة».

ويوجه دور مثل هذه الدراسات نحو تقليل دور المصادفة في العلم والتكنولوجيا، وفي الحياة العامة للجماعة البشرية. فصُممت أعداد كبيرة من الطرق والمناهج التي تسمح باستبعاد شامل لها، أو - على الأقل - تقليل عواقبها المدمرة. إحدى هذه المشاكل الأكثر أهمية تتعلق بفصل الإشارات النافعة من خليط تتداخل فيه المصادفة (الضجيج) مع الإشارة اللازمة المطلوبة. في حياتنا اليومية نقوم أثناء عملنا بحل كتل من المشاكل المشابهة في كل خطوة تقريباً، مع أننا لا نلتقط أنفاسنا لنسأل كيف نفعل هذا؟!

في هذا الكتاب، سوف نلقي نظرة على الطرق المدهشة النافعة التي في حوزتنا، لتقليل الدور الذي تلعبه الصدفة في حياتنا.

حتى الآن، لم نتحدث إلا عن الجانب المكدِّر من المصادفة، ذلك الجانب الذي يزحم حياتنا بعدم اليقين والقنوط والاستنفار. لكن من المعروف منذ فترة طويلة أن لها وجهاً آخر سعيداً، نافعاً ومحبباً.

كان الناس مسرورين منذ زمن، من حدوث صدف نافعة، وكانوا يبتهجون بحظهم الحسن، أما الآن، فتجري محاولات متتابعة لتسخير الصدفة لخدمة البشر. وكان الأولون الذين فهموا واستخدموا مزاياها هم الذين قاموا بتربية انتقائية لنباتات جديدة، ولأنواع جديدة من الأشجار والدجاج والأسماك.

بدأ المهندسون حديثاً يهتمون بالمصادفة، ونجحوا في إنتاج سلسلة رائعة من الآلات ذات القدرات الفائقة، لأنهم ضمّنوا تصميماتهم عنصراً من عناصرها. تعلم العسكريون والاقتصاديون أن يدركوا ويفهموا أهميتها ومنفعتها في حل المشاكل التي تتطلب انتقاءً لأفضل مسارات العمل في مواقف

الصراع، وكانت أفضل المسارات التي اكتشفوها هي تلك التي تعتمد على المصادفة.

وفي هذا الكتاب سندرس تطبيقاتها النافعة الأكثر أهمية. فالصدفة ليست شيئاً سلبياً خاملاً، إنها تلعب دوراً نشطاً في حياتنا، فهي من ناحية تشوش خططنا، ومن ناحية أخرى تقدم لنا فرصاً جديدة. ومن الصعب المبالغة في تقدير تأثيرها على الطبيعة وعلى وجودنا وحياتنا. علينا أن نتذكر فقط بأن الحياة نفسها ظهرت عبر سلاسل متتابعة من حوادث صدفية.

في الطبيعة، تتبع المصادفة قوانينها الخاصة التي لا مهرب منها. يمكن لها أن تكون عمياء، وقد تكون نافذة البصيرة حادة الذكاء. الصدفة تدمر حتماً، كما أنها تخلق حتماً. إنها تسبب الأسى بالضبط كما تسبب المسرة. تعوق، لكنها تقدم العون في الوقت نفسه. إنَّ سيفها ذو حدين. وهو مضلل جداً، لا نقول خطر فحسب، بل هو أيضاً شريك لكفاح الإنسان ضد قوة الطبيعة الجامحة العمياء.

إن هذا الكتاب مكرس لفهم المصادفة من كل وجوهها: **الصدفة/ العائق، الصدفة/** المعاون. **الصدفة/ المدمر، الصدفة/ الخالق، الصدفة/ العدو، والصدفة/ الصديق.**

المصادفة هي .....

في مقدمتي سألت: ما هي المصادفة؟ دون أن أقدم إجابة مباشرة، ولهذا سببان:

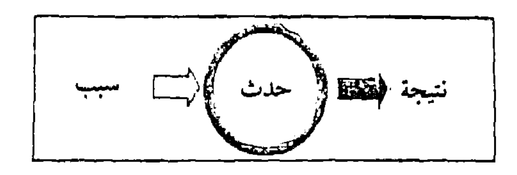
الأول: سببٌ عليه أن يتعامل مع نمط محدد من كتب العلم الشعبية، وهو نمط ليس لدينا قصد في إهماله، ففكرة هذا الكتاب أن يبدأ في طرح أسئلة أولية، ويسمح بتجمع كمية من الغموض والضبابية حولها، ثم يتقدم ليظهر أن الأشياء ليست بسيطة أبداً كما تبدو، وبأنها في الحقيقة عكس ذلك تماماً. تتحول المشكلة لتصبح معقدة جداً، وليست كما بدت أولية مباشرة. يفترض بعد ذلك أن ينطلق الكاتب وهو يعرف موطىء قدمه، ليطرح عدداً كبيراً من الأمثلة المغرية التي هي في الوقت عينه أمثلة محيرة، ليصدم القارىء المندهش من جهله حول الموضوع. ثم يكون حينئذ مستعداً لأن يلج المعرفة المعاصرة في المجال المحدد.

الثاني: سبب أكثر أهمية. فمن الواضح أن المدرسيين والعلماء لم يتوصلوا إلى اتفاق حول تعريف المصادفة. وبالتالي، يغامر أي كاتب يضع على كاهله مسئولية الإجابة على هذا السؤال، فيدعو ضيفاً غير منافق من زملائه، ليجد نفسه في موقف غير مريح لأن عليه أن يصوغ رأيه.

إذاً سنجمع الآن كل احتياطي شجاعتنا لنحاول الإجابة على السؤال: ما هي المصادفة؟!. المصادفة في البداية وقبل كل شيء هي «لاتوقعية جهلنا» الراجعة إلى المعلومات الرديئة التي بحوزتنا، والراجعة إلى غياب البيانات الضرورية، وإلى نقص معرفتنا الأساسية.

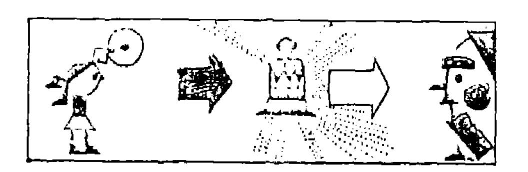
هكذا نعرِّف المصادفة بأنها مقياس للجهل، فكلما قلَّتْ المعلومات التي لدينا حول أي موضوع، كلما كان سلوكه سلوك مصادفة، وبالعكس كلما توفرت المعلومات التي نعرفها حوله، قلت سلوكيات المصادفة، وازدادت قدرتنا على توقع سلوكه المستقبلي. ومن هذه الزاوية يمكننا أن نعتبر أن وجهة نظر تيميريازيف صحيحة جداً. فطبيعة المصادفة بالنسبة لهذه الحقيقة أو تلك العملية هي تأكيد لجهل الدارس وعدم كفايته في فهم القضية المطروحة.

دعنا نبني نموذجاً لمفهوم الصدفة هذا، فنمثل العلاقة بين السبب و النتيجة لحدث ما بتخطيط عبارة عن دائرة وسهمين (انظر شكل 1).



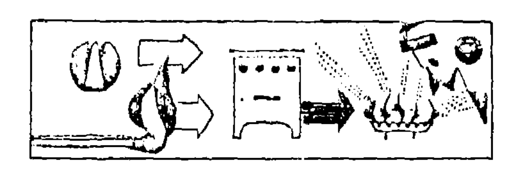
شكل (1)

يُمَثل سبب الحدث بسهم أبيض يدخل الدائرة، وتُمثل النتيجة بسهم أسود يخرج من الدائرة، وسوف نجد مناسبة لنستخدم تحولات من مثل هذا النوع في كل مرحلة من مراحل نقاشنا. فعندما ندق جرس باب ما، فإننا نضغط على الزر بجوار الباب، وهكذا نبدأ سبباً يؤدي إلى نتيجة: رنين الجرس في الشقة (شكل 2).



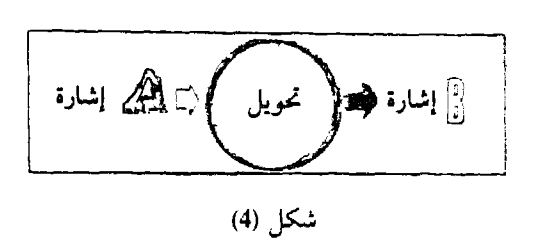
شكل (2)

إذا أردنا أن نشعل المشعل في فرن الغاز، علينا أن نبدأ بسببين: أن نفتح الصنبور المتحكم في سريان الغاز، ثم نشعل عود ثقاب بجوار المشعل. وهذان السببان سيؤديان إلى نتيجة هي: اشتعال المشعل (شكل 3).



شكل (3)

إنَّ التوقعات الناتجة عن العلاقات بين السبب والنتيجة، مناسبة كلياً وتستخدم بشكل واسع في السبرنيتية (علوم التحكّم) Cybernetics. فهنا العلامة (A) تسبب ظهور العلامة (B). والعلاقة بين العلامتين B، A تأخذ شكل تحول ينتج العلامة B في المخْرج output، بمجرد تغذية المُدْخَل input بالعلامة A. رمزياً تأخذ المعادلة هذه الصورة: $A \rightarrow B$.

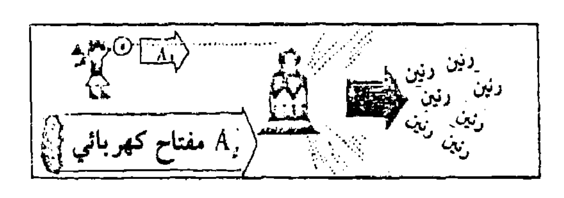


شكل (4)

دعنا نرجع إلى مَثَل جرس الباب. هل لنا أن نتأكد من أنه كلما ضغطنا الزر رَنَّ الجرس؟. بالطبع لا. فقبل أن نستطيع القول بأن دعوتنا ستسمع، علينا أن نعرف هل الدارة الكهربية للجرس مفتوحة أم لا؟. أي أن هناك شرطين ضروريين ليرن الجرس: (1) أن يكون بالدارة تغذية كهربية؛ (2) أن يضغط الزر. وعندما يتحقق هذان الشرطان فقط، يصبح رنين الجرس مسألة يقينية كاملة.

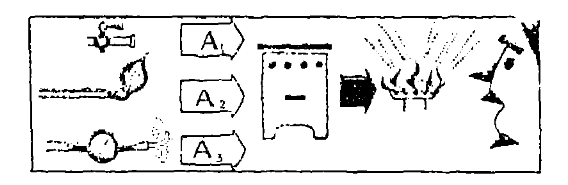
بيد أنه، بينما نقترب من الباب الأمامي، فنحن لا نعرف إن كانت الدارة الكهربية مفتوحة أم لا. وهذا ما يجعل رنين الجرس حدثاً من أحداث المصادفة، حيث تنقصنا المعلومات المؤكدة، فلو هاتفنا صديقنا قبل الوصول وسألناه إن كان جرس الباب يعمل؟. بكلمات أخرى، لو حصلنا على المعلومات الضرورية، حينئذ سيكون حدث ضغط الزر ورنين الجرس مرتبطين ببعضهما بطريقة مؤكدة ومحددة كلياً، ولن تظهر المصادفة في الصورة أبداً.

في هذا المثال، يوجد عادة عنصر صدفة، لسبب بسيط هو أن شَرْطَي رنين الجرس A_2, A_1 (ضغط الزر، الدارة الكهربية) لا يتوفر إلا أحدهما فقط وهو ضغط الزر. إنَّ «السلوك الصُّدفي للجرس» يرجع إلى عدم اليقين بالنسبة للشرط الثاني (شكل 5).



شكل (5)

لقد افترضنا ضمناً بأن الجرس نفسه يعمل، فإذا لم نستطع أن نفترض هذا، فذلك يمثل أحد منابع المصادفة.



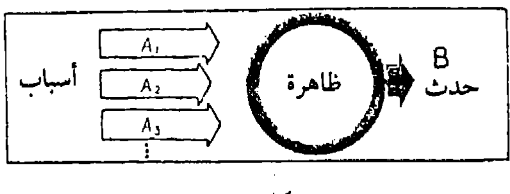
شكل (6)

يحدث الموقف نفسه عندما نريد إشعال فرن الغاز (شكل 6). فبالإضافة إلى السببين اللذين ذكرناهما A_1، A_2 (فتح صنبور الغاز وإشعال الثقاب)، يتعين أن نعرف حالة السبب الثالث (A_3)، وهو وجود ضغط غازي في الأنابيب المركزية أو في أسطوانة الغاز. فلو أخذنا الاحتياط بمهاتفة شركة الغاز، وتأكدنا أن التغذية بالغاز تعمل بانتظام - أو لو قسنا الضغط داخل أسطوانتنا - حينئذ لن يكون إشعال المشعل الغازي حادث صدفة. ومع هذا، لو أهملنا التيقن من هذه المعلومة، فعلينا ألا نتوقع أن يشتعل المشعل في كل مرة نفعل فيها هذا، وسيصبح حدث صدفة، لأنه لم يعد متوقعاً بنسبة مئة بالمئة.

هكذا تصبح المصادفة بالضرورة مقياساً لمستوى جهلنا. فكلما ازداد جهل الفرد، كلما خضع عالمه أكثر لعملها. والعكس صحيح: العالَم في عيني العالِم لا يبدو هشاً أمام سياطها.

ترى إذاً أن المصادفة مسألة ذاتية تعتمد على كمية المعلومات التي يمتلكها الفرد. فلو تهيأ الإنسان لقبول وجود إله حقيقي كلي المعرفة، فإن هذا الإله لن يواجه أي أثر للمصادفة في عالمنا. لسوء حظ الملائكة إن الله وحده - حسب قصة الكتاب المقدس - هو العليم، صاحب المعرفة الكلية. حتى الملائكة المقربون - رغم قداستهم - لم يوهبوا تلك القدرات الفائقة للمعرفة الضرورية. أما الإنسان الخطّاء بالطبع، فلا يستطيع، ولا نتوقع منه، أن يتمثل تلك القدرات التليباثية الخارقة للقادر الجبار. فهو يستقبل المعلومات المحدودة عن العالم المحيط عبر القنوات (الأسطوانية) الخمس التي تربطه بـالعالم الخارجي «البصر - السمع - الشم - اللمس - التذوق». ويتأتى تزعمه كسيد للطبيعة من اكتمال دماغه فقط. هذا التطور الذي سمح له بأن يصف آلية المصادفة تقريباً كما يلي:

كل حدث (B) هو نتيجة لمجموعة من الأسباب، قد تكون محدودة أو كبيرة العدد. في الشكل (7)، تشير النقاط تحت أسهم الأسباب A_1، A_2، A_3 . . . ، إلى أن عدد الأسباب يمكن أن يصبح بلانهاية: A_4، A_5، A_6 . . . وهكذا. ولتوقع حدث ما، على الإنسان أن يعرف بالضبط كل الأسباب المسئولة عن وجود هذا الحدث.



شكل (7)

عندما تكون الأسباب محدودة العدد، ويمكن ملاحظتها بسهولة، لا يُعتبر الحدث حدث مصادفة (يسمى غالباً حدث منتظم أو حدث محدد معروف). فعلى سبيل المثال: لو رمينا بحجر في الهواء، نستطيع أن نتوقع بثقة ودقة كاملين، أنه سيسقط على الأرض وليس على القمر. هنا يمدنا قانون الجاذبية بكل المعلومات التي نحتاجها عن الحدث، ليصبح في مقدورنا أن نحدد أين سيقع الحجر. ومع هذا، لو كان عدد الأسباب كبيراً جداً، ويستحيل معرفتها جميعاً في الوقت نفسه (مثلاً: يتطلب الحدث B مليون سبب)، لن يعود الحدث حينئذ قابلاً للتوقع، وبما أنه غير قابل للتوقع، فسيكون حدث صدفة. تنبع المصادفة هنا من المعرفة غير الكافية، ومن عدم الكفاءة، ومن ندرة المعلومات.

هل يعني هذا أنه ذات يوم، عندما نصبح جميعاً فائقي المهارة، ستختفي المصادفة فجأة من على وجه الأرض؟

كلا، بالتأكيد لن تختفي المصادفة، فهناك على الأقل ثلاثة عوامل تمنع هذا من الحدوث، وهي ثلاثة مدافعين أشداء مخلصين عن المصادفة. **الأول**: هو التعقيد اللامتناهي للعالم. ولن ينجح أحدٌ أبداً في إنهاك التنوع اللانهائي لعالمنا، ولن نكتشف أبداً ما ينبغي علينا أن نعرفه عنه. إنَّ أي قصدية تدعي تقديس المعرفة الكلية لنوعنا البشري، هي أكثر حمقاً من مجرد الاعتقاد في الآلهة، لأن هـذا التقديس سيجعله هونفسه إلهاً دائم الوجود كلي القدرة.

نبسط المسألة أكثر فنقول: هناك نوع من القصور الطبيعي في سبر أغوار العالم بحثاً عن أسراره، ومع هذا، كلما تعمقنا في دراسته أكثر، وجدنا شيئاً خلفه في «قاع البرميل»، لأن العالم لا يمكن استنفاده وسبر أغواره. وقد عبّر عن ذلك ـ بشكل غير مسبوق ـ كوزما بروتكوف فقال: «من المستحيل أن نسبر عمق ما لا يُسبر».

من الواضح أننا لن نستطيع أبداً توقع على أي وجه ستسقط قطعة النقد، لأن مصير القطعة تحدده أربعة عناصر على الأقل، وهي: رامي القطعة ـ الوسط الذي تسقط فيه القطعة ـ السطح الذي سترسو عليه ـ خصائص القطعة النقدية ذاتها. وكل عنصر من هذه العناصر حيوي بالنسبة للنتيجة، وكل منها بدوره نتاج عدد هائل من الأسباب. وفي الحقيقة، فإن عدد هذه المسببات لانهائي من الناحية العملية، ولذا من المستحيل وضعها جميعاً في الاعتبار في الوقت نفسه، حتى ولو في رمية واحدة للقطعة النقدية.

مدافع صلد آخر عن المصادفة واللاتوقعية في عالمنا، هو محدودية دقة مقاييسنا. فمن المعروف جيداً أن دقة التوقع تعتمد غالباً على دقة قياس الأسباب، لكن دقة أي قياس محدودة. أجل، تتحسن دقة قياسنا بتطور العلم والتكنولوجيا، لكنها تبقى دائماً ـ وستظل هكذا أبداً ـ محدودة. بكلمات أخرى، ليست هناك دقة مطلقة ولن تكون، حتى لو ركزنا قياساتنا على البنية الذرية للمادة. وتحد هذه الحالة من احتمالات التوقع، وبالتالي تؤكد بقاء الصدفة حية.

على سبيل المثال، لو أردنا أن نحدد نقطة ارتطام صاروخ بالستي (قاذف)، سيكون علينا أن نعرف كل العوامل المؤثرة في مسار الصاروخ بدقة كبيرة. هنا، سنهتم ـ أساساً ـ بحالة طبقات الجو المختلفة التي سيعبرها الصاروخ. ومع هذا يصبح من الصعب جداً ـ ومن المستحيل عملياً ـ أن نقيس بدقة حركة الكتل الهوائية في الغلاف الجوي على طول الطريق الذي سيمر به الصاروخ إلى هدفه. وسيكون علينا إذاً، أن نحجّم قياساتنا باستعمال تقديرات تقريبية للعناصر المطلوبة، هكذا ستكون إصابة الصاروخ للهدف مسألة مصادفة، لأننا لا نستطيع أن نتوقع بدقة إن كان هذا سيحدث أم لا، وستكون استحالة التأكد من إصابة الهدف راجعة إلى نقص معلوماتنا الدقيقة، وهذه الاستحالة ناتجة أساساً من تقريبية قياساتنا.

أخيراً، لا تظل المصادفة من جهلنا فقط، ولا من التعقيد اللانهائي لعالمنا فقط، ولا من محدودية

دقة القياس فقط، ولكنها أيضاً موروثة من المبدأ الشهير: «اللاقياسية أو اللايقينية»[1] الذي صاغه عالم الطبيعة الألماني وارنر هايزنبرغ W. Heisenberg.

تعني «اللايقينية» ـ بالضرورة ـ أن ظهور كل حدث يتحدد بتفاعل ذرات مفردة، يكون بطبيعته حدث مصادفة. ولتفصيل هذا المبدأ نقدمه كما يلي: من المعلومات العامة أنه لتحديد أي حالة مستقبلية لجزيء ما في الفراغ، تلزمنا قياسات دقيقة عن موقعه وسرعته المبدئية، ولا أكثر من كذلك. ويتعلق مبدأ «اللايقينية» uncertainty بمحدودية الدقة عندما يكون الجزيء المدروس هو جزيء تحت ذري subatomic. باختصار ترتبط الدقة التي نستطيع بها تحديد واحد من معالم أو معايير الجزيء ما تحت الذري ـ موقعه مثلاً ـ بالدقة التي سنحدد بها المعيار أو المَعْلَم الآخر: الزخم أو قوة الاندفاع momentum. فكلما زادت دقة قياس أحد المعالم، انخفضت الدقة التي نقيس بها المَعْلَم الآخر. فمن المستحيل قياس العنصرين بالدقة المطلوبة. وهذه خاصية قطعية من خواص العالم الذري، ولا يوجد أي تقدم تقني في القياس يجعلنا قادرين أبداً على تحسين دقة مقاييسنا خلف هذه الحدود. بالضبط كما أنه لن يجعلنا أي تقدم علمي ممكن أن نتدخل بفعالية في الماضي. «علينا أن نلاحظ أنه بينما يكون ممكناً فهم الماضي ـ وهذا مما نفعله ـ إلا أننا لا نستطيع تغييره أبداً».

توضّح التجربة البسيطة التالية مبدأ «اللايقينية» جيداً: افترض أن لدينا أنبوب صورة تلفزية عادي. داخل الأنبوب مصدر للإلكترونات يدعى «مدفع إلكتروني»، عبارة عن خيط متوهج عادي كالموجود في حبيبة المصباح الكهربي التي تشتعل باحمرار. يصبح الخيط المشتعل مصدراً للإلكترونات. تُسرَّع الإلكترونات بواسطة مجال كهربي، ثم تحرر من فتحتين، الواحدة خلف الأخرى في أسطوانة المدفع، وتركز هاتان الفتحتان الإلكترونات في شعاع ضيق يخرج من المدفع الإلكتروني كسيل من الرصاصات الخارجة من بندقية آلية. يوجَّه هذا الشعاع نحو شاشة فيها طبقة من مادة حساسة لاصطدام الإلكترونات. عندما يصطدم إلكترون واحد بالشاشة فإنه ينتثر (أي يفقد طاقة)، وهذه الطاقة المفقودة تعاود الظهور على هيئة بريق ضوئي صغير تراه العين. هكذا يُنتج التيار المتواصل من الإلكترونات في الشعاع الإلكتروني بقعة مشعة من الضوء على الشاشة. ويمكننا أن نحرك هذه البقعة الضوئية على كل الشاشة، بالتحكم في حركة الشعاع بواسطة مجال كهربي أو مغناطيسي. وهذه ببساطة هي قاعدة عمل التلفاز. بيد أن تلك ليست المسألة الرئيسية الآن. إذا افترضنا أننا نريد جعل البقعة على الشاشة أصغر ما يمكن، فذلك يقتضي أن نصغّر قطر الشعاع الإلكتروني الخارج من المدفع الإلكتروني. فكيف نحقق هذا؟. يبدو أن الأمر ليس بهذه البساطة. كل ما نفعله هو جعل فوهة البندقية أصغر. فإذا تخيلنا أننا نجحنا في جعل المدفع الإلكتروني ذا فوهات مختلفة بمدىً من الفتحات الكبيرة حتى الفتحات الصغيرة، إلى فتحة تساوي ـ فرضاً ـ قطر إلكترون واحد (لا نحتاج بالطبع مدىً أصغر من هذا، لأننا لو فعلنا فإن الإلكترونات ستتكوم في أسطوانة المدفع)، ويمكن تشبيه هذه الأوالية بفتحة الكاميرا. وبوضع بعض مثل هذه الفتحات أمام المدفع الإلكتروني، يمكننا تغيير قطر الشعاع الإلكتروني.

(1) مبدأ «اللايقينية» لهايزنبرغ ظهر في عام 1927، وقد منح هايزنبرغ بسببه جائزة نوبل عام 1932. (مترجم النص من الروسية إلى الإنجليزية).

نحن مستعدون الآن لبدء تجربتنا. فبمجرد أن نصغر الفتحة، نجد في البداية أن البقعة على الشاشة أصبحت صغيرة فعلاً. لكن بعد وقت تتوقف البقعة عن الصغر، وتتكون حولها حلقات ضوئية شاحبة. إنْ ضيّقنا الفتحة أصغر فأصغر بعد هذا، ستنتشر تلك الحلقات عبر الشاشة. وبفوهة مدفع في أصغر مدى لفتحتها (مساوية لقطر إلكترون واحد) تختفي البقعة الضوئية كلياً، ونرى سلسلة من البريق الدقيق الذي يظهر واحداً بعد الآخر، ويتوزع هنا وهناك على السطح الكلي للشاشة. فكيف نشرح هذا السلوك الغريب للإلكترونات؟. قد يعتقد المرء في البداية، أنه عندما تكون الفتحة في أصغر قطر لها، يصبح الشعاع خطاً واحداً من الإلكترونات التي تضرب الشاشة في النقطة نفسها بالضبط، ويعتقد أن قطر البقعة المضيئة، سيكون ـ لهذا السبب ـ مساوياً لقطر إلكترون واحد، لكننا لاحظنا من التجربة أن لا شيء من هذا قد حدث. فأين مكمن الخطأ إذاً؟!.

الحقيقة أن النتيجة المأمولة تتناقض مع مبدأ «اللايقينية» الذي تحدثنا عنه، وما حدث كان كالتالي: كلما ضيقنا فتحة المدفع الإلكتروني، أصبحت نسبة الخطأ في تحديد موقع الإلكترونات المتحركة أقل فأقل. وهذه النسبة مساوية للفرق بين قطر الفوهة وقطر الإلكترون. عندما تصبح الفتحة أصغر فأصغر تميل هذه النسبة لأن تصبح صفراً، لذا عندما تضيق الفوهة إلى ما يساوي قطر الإلكترون، فإن موقع الإلكترونات يمكن تحديده بدقة. وفي لحظة مرور الإلكترون من الفتحة فإن إحداثياته Coordinates تتوافق بالضبط مع إحداثيات الفتحة. وطبقاً لمبدأ اللايقينية، فإن مثل هذه الدقة العالية في تثبيت موقع الإلكترون، تُحبط بشدة إمكانيات تحديد أي شيء عن السلوك التالي للإلكترون، بمعنى آخر تحديد أي شيء عن حركته التالية (أي سرعته). وهذا ما لاحظناه في تجربتنا عندما وجدنا أننا يمكن أن نرى إلكتروناً آخر بالاحتمال نفسه، على أي نقطة في الشاشة.

عندما نُثبِّت موقع إلكترون واحد، نكون، وسوف نكون دائماً، غير قادرين كلياً على تحديد اتجاه حركته التالية، أي سرعته، بدقة أعلى مما يسمح به قانون هايزنبرج (مبدأ اللايقينية). وهنا تبدو للمصادفة خاصية أساسية لا يمكن تغييرها بأية طريقة عن طريق تحسين دقة القياس.

هذا هو عالمنا، وتلك هي قوانينه الموضوعية، وأملنا في يوم ما في المستقبل أن ننجح في أن نمتطي ظهر الصدفة، كذلك الحلم الساذج برحلة إلى الماضي البعيد (حقاً قام كتّاب الخيال العلمي بصنع هذا الحلم المشكوك فيه. لكن جهودهم ترتبط بقدراتهم المدهشة في تحويل الصخور إلى جبال، وجمع حقوق التأليف أكثر من محاولات التبصر العلمي).

إنّ القاعدة الذرية لعالمنا تتصرف عشوائياً، وينام «مبدأ اللايقينية» في قلبها. ومن هذا المنظور نستطيع أن نستخلص نتيجة مدهشة ترتبط بانفرادية أو تفرد كل تجربة محسوسة، والطبيعة التي لا تعيد إنتاج كل النتائج التجريبية، وهي خلاصة تتعارض مع كل العلم الكلاسيكي المصطنع. ذلك العلم المنتظم في القرن الماضي، والذي يُقرُّ ـ كضرورة مطلقة ـ بأن مجموع الشروط ذاتها إذا تكررت لا بد وأن تؤدي إلى النتائج ذاتها، وهذا بالضبط ما لا يحدث. فحتى وإن استطعنا إعادة إنتاج كل شروط إحدى التجارب مرة ثانية وبدقة كاملة، فإننا لا نزال نحصل على نتائج مغايرة.

بماذا ينذر هذا؟ بانهيار العلم؟

بالطبع لا. إنه يعني أن المعرفة أخذت خطوة جديدة وعظيمة إلى الأمام. نعم تحكم عالمنا الاحتمالات مما يؤدي إلى قصور في التكهن الدقيق مبدئياً، وكل استقراء أو تنبؤ بالمستقبل سيكون دائماً وبالضرورة قاعدة احتمالية أكثر منها قاعدة يقينية. ومع هذا، وكما يقول عالم الطبيعة الأميركي ريتشارد فينمان Richard Feynman: «بالرغم من ذلك يواصل العلم الحياة».

كيف نعيش في عالم لا يمكن أن نتوقع فيه أي شيء بدقة؟!. بالعكس. ليس ذلك مشهداً مرعباً على كل حال. ففي **المقام الأول**: تكون محدودية الدقة التي يصوغها مبدأ اللايقينية صغيرة جداً، وعند مستوى نظام ذي أبعاد نواة ذرية. وهذا المبدأ هو ما يجعلنا نشعر بوجودها في القياسات عند المستوى الذري فقط. وثانياً: لا تجعل «اللاتوقعية» عالمنا أقل راحة كما يُظن.

حقاً يمكن اعتبار اللاتوقعية عائقاً أمام القياس الدقيق، ومع هذا طوّر العلم الحديث طرقاً فائقة القدرة لمعالجة أخطاء القياس (سنناقشها فيما بعد)، وجعلنا قادرين على استبعاد المصاعب المصاحبة للاتوقع بدقة أكثر وبلا ألم.

لكن دعنا الآن نعود إلى العالم الكبير. لقد رأينا من قبل أنه في العالم الصغير (العالم الذري) لا يمكننا أبداً أن نتوقع بدقة الموقع المستقبلي لجزيء دقيق، أما هنا فإن أي تفاعل كبير، أي تفاعل بين أجسام ذات أحجام، يقوم بين عدد كبير من تفاعلات صغيرة تكون نتيجتها النهائية ـ وطبقاً لمبدأ اللايقينية ـ غير متوقعة. وبالتالي، فإننا لا نستطيع التكهن بالسلوك المستقبلي للأجسام الكبيرة بدقة، ولكن يمكن التكهن التقريبي فقط، وبدرجة محددة من اليقين. وسنوضح ذلك بمثال بسيط: تتكوّن عجلة (دولاب) الروليت من صحن دائري ضيق ذي مئات من الثقوب في الجزء المركزي من سطحه، ترمى كرة صغيرة خفيفة داخل هذا الصحن بسرعة معينة، وبعد أن تدور حول حافة الصحن الداخلية، تفقد سرعتها تدريجياً حتى تسقط في أحد هذه الثقوب. فإذا جعلنا الكرة وعجلة الروليت عند المستوى الذري ـ تخيل أن ذلك ممكن للحظة ـ وافترض أن الكرة تحرر بآلية دقيقة كلياً، بحيث تبدأ دائماً من الموقع نفسه وتدور دائماً في الاتجاه نفسه بالسرعة نفسها، فهل يعني هذا أنها ستنتهي دائماً إلى الثقب نفسه؟

لا، بالتأكيد لا، فطبقاً لمبدأ اللايقينية، يمكن توقع الاتجاه الذي تأخذه الكرة بعد كل اصطدام مع حافة العجلة (الدولاب) في إطار نظرية الاحتمالات فقط. فالمسار الدقيق الذي تتبعه في كل حالة لا يمكن التكهن به أبداً لأنه سيتحدد عند المستوى الذري، أي بالتفاعل بين ذرات الكرة والدولاب عند نقطة التماس. وبما أن شروط تجربتنا نوعية، أي أن سرعة انطلاق الكرة معروفة بدقة عالية، فإنّ موقع السقوط الأخير سيكون غير مؤكد لحد ما.

يتضح أنه مع كل دورة للكرة، يزداد عدم التيقن من موقعها بطريقة تراكمية ويصل إلى أقصاه عندما تتوقف الكرة عن الدوران. وهذا ما يجعل دولاب الروليت آلة عشوائية بالضرورة، والنتائج التي تنتجها يمكن توقعها تقريبياً فقط، ولن توجد أي طرق جديدة للقياس الدقيق يمكن أن تجعلنا نتوقع المكان النهائي لرسو الكرة بدقة أكثر مما يسمح به مبدأ «اللايقينية».

منذ مدة ليست بالبعيدة، انتشرت أخبار مثيرة تقول بأن مجموعة من الرياضيين الشبان نجحوا في

إنشاء نظام حسابي للروليت بواسطة كمبيوتر ذي قدرات عالية، ونجحوا أيضاً في سرقة بنك. إنَّ الفَبْرَكة واضحة في مثل هذه الأخبار التي تأتي فقط من الرغبة - لا أكثر - في إيلاج المستقبل بشكل مطلق، وليس بالتقريب كما في التنبؤ العلمي، وهو ما يتعارض مع مبدأ اللايقينية. من الصعب القول إنْ كانت الإثارة مجرد تلفيق أم إعلاناً لصالح شركة كمبيوتر.

دعني أذكرك بأننا كنا نتحدث عن دولاب روليت مثالي، ورغم بنيته المتكاملة يصبح مجرد آلة عشوائية. أما دولاب الروليت الحقيقي فيسلك سلوكاً لا يمكن التكهن به بدرجة هائلة الوضوح، بسبب خشونته الطبيعية وعدم استواء سطح الدولاب وسطح الكرة الحقيقية. وهذا معناه أن عدم اليقين بالنسبة للروليت الحقيقي أقيم على أساس «لايقينية هايزنبرغ» إضافة إلى عدم اليقين النابع من خشونة السطوح المتلامسة، ويفوق عدم اليقين الأخير الأول بدرجة بينة. بكلمات أخرى، يكون الروليت الحقيقي آلة عشوائية حيث يوجد المنبع الأساسي للصدفة، ليس في المستوى الذري، وإنما في عدم استواء السطوح المتلامسة - بلغة أخرى - في فقر المهارة الفنية لهذه الأسطح إنْ أردت. ومع هذا فإن سلوك دولاب روليت مثالي لا يمكن التكهن به أيضاً.

مما يستحق الملاحظة، أن مالك اللعبة يكون مهتماً دائماً بتحقيق اللاتوقع الأقصى. بالطبع لو بدأ الدولاب يظهر أي ميل لثقوب محددة تسقط الكرة فيها أكثر من غيرها، سيلاحظ اللاعبون ما يجري، وسيراهنون على الثقوب المفضلة. ساعتها سيخسر المالك. ولتجنب سوء الحظ هذا، يحاول المالك المحافظة على عمل دولابه (عجلته) في أقصى عشوائية وأقصى لاتوقع ممكن.

للأسباب التي ناقشناها سابقاً، نرى أن عالمنا هو عالم من المصادفات، عالم من الاحتمالات. تقود طبيعته العشوائية كثيراً إلى خصائص العالم ذاته وإلى القدرات المحدودة للبشر، الذين لا يهتمون غالباً بالموقع الدقيق لعنصر المصادفة، سواء كان في جوهر الظاهرة، أو كان نتاج تفاعل الإنسان مع العالم حوله.

لنخلص إلى القول - استعارةً من أساطير آبائنا السابقين - بأن الصدفة في هذا العالم تنام بأمان فوق ثلاثة حيتان:

(1) مبدأ اللاتحديد واللايقينية.

(2) استحالة نضوب الكون.

(3) محدودية القدرات البشرية (في اللحظة النسبية من التاريخ طبعاً).

إنَّ تفاعل هذه العوامل الثلاثة هو الذي يكوِّن عدم اليقين في عالمنا الصُدفي ثلاثي الأبعاد. فماذا سنفعل إذاً إزاء ذلك؟.

علينا بدايةً أن نتخلص من أوهامنا أنه يمكننا الهروب من المصادفة كلياً. هذا ممكن فقط في حالة استطاعتنا اختراع عالم آخر مختلف اختلافاً مطلقاً عن العالم الذي نعيش فيه.

هذا هو العالم الذي فهمه العالِم الفرنسي لابلاس الذي قال بأن كل الظواهر تتعين بحالة العالم السابقة مباشرة. وقد صاغ هذا المفهوم كما يلي «علينا أن نعتبر أن الوضع الحالي للكون هو نتاج ظروفه السابقة»، «إنه في الحقيقة عقل أدرك - في لحظة ما من الزمن - كل القوى الموجودة في الطبيعة، والمواقع

الطبيعية للأجزاء المكونة لها، بالإضافة إلى أنه عقل فائق جداً بحيث يستطيع تحليل كل هذه المعلومات، وأن يدمج في صيغة واحدة حركات الأجسام الكبرى في الكون وحركات ذراتها الدقيقة. لا يمكن أن يوجد شيء لا يدركه هذا العقل، لأن المستقبل يدهمنا قبل أن تكون ملامحه معروفة بوضوح كالماضي».

إنَّ عالم لابلاس ليس إلا صورة حركة لانهائية تُعرض بلا توقف أمام عيوننا، وسنكون نحن أنفسنا جزءاً من هذا الفيلم، ونعمل بتبعية دقيقة لمخطوطة كتبها «إله» يعرفنا.

إنَّ عدم واقعية عالم كهذا واضحة للكل. إنَّه ليس عالمنا. وبغض النظر عن ذلّ هذا القصور (حيث يكون من المهانة أن تصبح دمية في يد آخر)، فإن كون لابلاس يطرح أمامنا اعتراضات خطيرة وجدية. عالم لابلاس محدد سلفاً وهو لهذا خيالي. فكل شيء سيكون بالضبط كما في المخطوطة، وتم تثبيت كل شيء مسبقاً. حاول كيفما شئت فلن تكون قادراً على تغييره قيد أنملة، وسيصبح كل كفاحك لتغيير الأشياء مكتوباً أيضاً في المخطوطة منذ وقت طويل. هذا هو عالم لابلاس.

لكن ماذا عن الكون الصُدفي ثلاثي الأبعاد؟ كيف نتقدم في طريق مصادفة أو آخر عندما يكون مستحيلاً أن نتكهن بما سيجري؟ هل نستطيع في الحقيقة أن نعمل بحكمة في ظروف تتضمن المصادفات؟ وكيف نسخّر الصدفة لغاياتنا ومقاصدنا النهائية؟

في الفصول التالية سنجيب على كل هذه الأسئلة. سنعالج أولاً العواقب السيئة للمصادفة، ثم بعد ذلك سندرس العواقب الجيدة. سيعالج الجزء الأول الوسائل التي في متناولنا للكفاح ضد الصدفة، وسيناقش الجزء الثاني طرائق استخدام المصادفة لخدمة الإنسان.



الجزء الأول

المصادفة / العائق

تلعب الصدفة دوراً كبيراً في العالم، لدرجة أحاول فيها عادةً أن أجهّز لها غرفة صغيرة في البيت لتقوم بمناوراتها كما تريد، فأنا متأكد كلياً من أنها ستهتم بنفسها دون مساعدة مني.

ألكسندر دوماس

1 ـ المصادفة في مهد السبرنيتية.
2 ـ التحكم.
3 ـ تاريخ التحكم.
4 ـ المعركة مع تدخل المصادفة.
5 ـ البدائل، المخاطرة، القرار.

- 1 -

المصادفة في مهد السبرنيتية *

في عام 1940، لم تكن الحرب العالمية الثانية قد انتهت بعد، وكانت ألمانيا النازية متفوقة جوياً. كانت الطائرات الألمانية تمتلك سرعات عالية، وكانت تهرب بسهولة من نيران بطاريات المدفعية البريطانية، لأن الطائرات العسكرية في هذا الوقت كانت تطير بسرعات تتناسب مع إطلاق القذائف المضادة للطائرات. فأصبح من الضروري التصويب ليس على الهدف مباشرة، لكن على نقطة تبتعد مسافة عن الهدف، حيث يفترض الحساب أن تلتقي القذيفة بالطائرة. إن كانت سرعة الطائرة منخفضة، استطاع المصوِّب تحديد تلك النقطة حدسياً. يعي الصيادون جيداً المبدأ الفعَّال: لهدف متحرك عليك أن تصوب أمام الحيوان متوقعاً حركته مع طول الجسم كله، معتمداً على سرعته، وعلى بعده عنك. كانت المدفعية المضادة للطائرات تطبق المبدأ نفسه ساعتئذ.

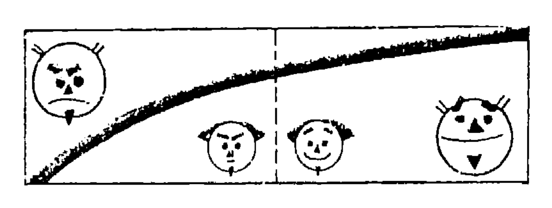
بظهور القاذفات والطائرات ذات السرعة العالية، أصبح من الضروري استباق الهدف بحوالى عشرين إلى ثلاثين طولاً، ذلك الهدف الذي كان أعلى من قدرات المدفعي الحدسية. علاوة على أن الطائرة عندما تدخل نطاق نيران مضادة، تبدأ في القيام بتكتيكات هروبية تقلل من تأثير حسابات المدفعية إلى الصفر. من هذه التكتيكات أن يغيِّر الطيار مساره تغييراً كبيراً عندما يكون في مدى النيران الأرضية، فيتبع مساراً منحنياً يجعله قادراً على تجنب مواجهة غير سارة مع أي قذيفة قد تطلق.

نتيجة لهذا، استطاع الألمان أن يقنبلوا مدن وأقاليم بريطانيا العظمى، محدثين دماراً ثقيلاً. وبهذا تصبح الأرض مستباحة من الناحية العملية، مما اضطر القائد الأعلى أن يستدعي علماء قوات الحلفاء لحل إشكالية تحديد مكان الطائرة القائمة بتكتيكات مواجهة الدفاع الجوي الأرضي. كان تعقيد المشكلة يرجع أساساً إلى أن الطائرة كانت تحت تحكم الإنسان، الذي يمكن تخمين أفعاله مسبقاً. من الطبيعي أن الطيار كان يطير في مسار لا يخمن المدفعي موقعه المستقبلي. أي أنه يحاول تحقيق أقصى لاتوقع بالنسبة لسلوك طائرته. المدفعي من الناحية الأخرى يحاول تخمين مقاصد الطيار، فمن وجهة نظره، تكون حركة الطائرة المتغيرة عشوائية، لأنه لا يعرف أي طريق سيسلكه الطيار بعد ذلك. فهل كان يعني ذلك أن الطائرة يجب أن تبقى دائماً غير معرضة للإصابة وأن المدفعية تبقى دائماً عاجزة حيالها؟

(*) السبرنيتية Cybernetics: علوم التحكم (المترجم).

لا. لم يستمر هذا الوضع. المسألة أن مقاصد الطيار لا تتفق دائماً مع تحققها. فإذا قرر أن يدور بطائرته في اتجاه معين، فإنه يحرك المتحكمات في الاتجاه تبعاً لذلك، فتغير الطائرة مسارها، لكن لا يحدث هذا مباشرة، وإنما يحتاج مدة محددة من الزمن، وبالتالي لا يمتلك الطيار حرية المناورة كاملة. بالإضافة إلى أن سلوك الطائرة يتبع رغبات الطيار، أي أن حركتها في أي لحظة زمنية تتعلق بمواقع «الموجهات» في اللحظات القليلة السابقة. وهذا ما يسمح للمدفعي المتابع لخط حركة الطائرة أن يقدر سلوكها في اللحظات القادمة.

لكن كيف يقوم بهذا بالضبط؟



شكل (8)

إن المشكلة هي مشكلة توقع سلوك عشوائي. فنحن نستطيع أن نقنع أنفسنا في الحال بإمكانية ذلك عن طريق تجربة بسيطة. يمثل المنحنى المرسوم في شكل (8) حركة جسم ما، سواء آلة ميكانيكية أو كائن حي. الفكرة هي أن تقوم بتغطية الجزء الأيمن من الصورة بشريحة ورقية لتتعذر رؤيته، ثم تسأل أصدقاءك أن يكملوا المنحنى بعد الخط المتقطع (في النصف الآخر) بالنظر إلى الجزء الأيسر. سيكون الجزء الأيمن من المنحنى مجهولاً بالنسبة لهم، ولذا يصبح حدث مصادفة. ومع هذا، فإن معظمهم سيخمنون مسار المنحنى بدقة عالية. فلِمَ يحدث هذا؟

الحقيقة أن جزء المنحنى الأيسر (المرئي)، يحمل معلومات عن الجزء الأيمن من المنحنى، ولذا فإن الملاحظ لا يجد صعوبة في توقع سلوكه. لكن لو سألته ليشرح سبب تكملته الخط المنحني بالطريقة التي فعلها، ولِمَ لم يكمله في اتجاه آخر؟، لن تتوقع منه إجابة معقولة، وسيقول في أحسن الحالات «حسناً، لقد ظهر لي أن هذا الاتجاه هو الأفضل».

هكذا يستطيع الإنسان أن يحل هذه المشكلة. كيف؟ لا نعرف. الحقيقة أنه يستطيع. حسناً، ماذا لو حاولنا بناء آلة تستطيع أن تفعل كل هذا مثلها مثل الإنسان بالضبط؟ فإذا استطعنا الحصول على مثل هذه الآلة لنتحكم في نيران المدفعية المضادة للطائرات، نكون قد امتلكنا نظاماً رائعاً لإسقاط أي طائرة بغض النظر عن تكتيكاتها ومناوراتها الواسعة. بَيْد أنه لنصنع مثل هذه الآلة، علينا أن نحل المشكلة حسابياً. وهي مسألة صعبة للغاية تسمى مسألة «استنباط مسارات القذيفة العشوائية» (مَدّ الخط واستمراريته).

إنها المسألة نفسها التي شدت انتباه عالم الرياضيات الأمريكي نوربرت واينر مكتشف السبرنيتية (علم التحكم)، فلقد نتج عن حله الرائع إمداد كل بطاريات الحلفاء المضادة للطائرات بآلات جديدة تحدد نقطة التصويب آلياً في لحظة.

هنا أخذ «العلم الطفل» (السبرنيتية» خطوته الأولى. خطا إلى أرض المعركة ضد الصدفة وهزمها. أوضحت السبرنيتية أن كل حوادث المصادفة يمكن اختراقها مسبقاً، وأن كثيراً منها يمكن التنبؤ بها بنجاح. أزالت قناعها السحري، قناع عدم التوقع. ولفعل هذا، علينا فقط أن ننظر بعناية داخل العمليات الخاصة وأن نحاول استكشافها.

من الحقائق المدهشة أن الوقائع الفيزيائية لشيء ما، ليس لها أدنى تأثير على حساباتنا. فالطريقة تسمح لنا بأن نتوقع - تقريبياً بالطبع - ليس فقط قذف طائرة متحكم فيها، بل وسلوك الحيوانات أيضاً، والطلب المستقبلي على نوع معين من المنتوجات، وقوة الفيضانات، وكثيراً من حوادث المصادفة للطبيعة المتنوعة بالمفاجآت.

نحن قادرون على فعل هذا، لأن العالم حولنا لا يبدو صدفياً بشكل كلي كما يظهر للوهلة الأولى. ولو دققنا النظر في ضبابية وغموض المصادفة، لاستطعنا أن نرسم ملامح قانون طبيعي مميز، يجعلنا قادرين على التغلب على المصادفة وعلى أن نحقق نتائج دقيقة.

هنا تلعب المصادفة دوراً سلبياً. إنها تعطل عملية المعرفة. تخلق المصاعب. تتدخل في حياة الإنسان، وتؤخر التقدم عموماً. ونستطيع أن نؤكد دون خوف من التناقض: أن الكفاح من أجل التقدم هو كفاح ضد المصادفة.

المصادفة لا تعاون أبداً، وغالباً ما يكون دورها مدمراً، ومع هذا تتعطل آليتها عبر عامل موروث في التقدم، هو التحكم Control، ذلك الذي سنوجه نحوه أنظارنا في الفصل التالي.

- 2 -

التحكم

أساطير الكتاب المقدس كدرسٍ في السِبَرْنيتية

طبقاً لحكاية العهد القديم المعروفة جيداً، فإن الرب صبأوت Sabaoth وملائكته خلقوا الكون في ستة أيام، وفي اليوم السابع استمتعوا بجماله وانسجامه لنهار واحد ولليلة واحدة فقط. وبحلول اليوم الثاني، امتلك العالم تاريخ يوم واحد، لم يلبث أن تصدع، فهنا وهناك بدأ البريق يخفت، وتشاجر أحدهم في مكان ما مع جيرانه، واختل الانسجام الأول. ولم يعد العالم ذو اليوم الواحد عمراً مثالاً للنظام والفضيلة.

تواصل الأسطورة القول بأن الأشياء بدأت تصير إلى الأسوأ بعد كل يوم يمر. قيل إن «الشيطان» لم يكن بريئاً كلياً من المسئولية عن تلك الحالة المحزنة، لكن الشيطان لم يزعج نفسه بمثل هذه التفاهات، فقد فضّل العمل على نطاق كوني، فمن بين تخصصاته على سبيل المثال تحويل الإنسانية إلى الرذيلة جماعات كبيّاع الخبز بالجملة، واختراع نظام من البراكين النافثة للحمم على كل الأرض.

بالرغم من ذلك لم ينحدر العالم بفضل جهود الشيطان، مع أنه قام بما في وسعه بكل تأكيد، وإنما فقد العالم بريقه لأن الرب صبأوت ابتعد عن عجلة القيادة وفقد التحكم. نتيجة لهذا انتشر المقت والخراب على سطح الأرض. بعد مدة من الزمن أفاق صبأوت من غفوته، فأصدر أوامره غاضباً، لكن الوقت كان قد فات، فلقد انزرع الفساد عميقاً جداً. كان أي نوع من المحاولات عبثياً، فكل شيء كان في حاجة لإعادة بناء شامل؛ لهذا أغرق العالم بفيضان ليدمر كل قبح أرضي، لكن أحد البشر فكر في خطة لإنقاذ الحياة على الأرض من الانمحاء الكامل، وهمس في أذن صبأوت بفكرة بناء فُلك يبحر فيه الذين اختارهم الرب. وجمع القبطان «نوح» الأنواع الدقيقة من النباتات والحيوانات الأرضية، التي تشمل بالطبع نوحاً وأبناءه. وكانت مهمتهم إيجاد عالم جديد منظم جيداً. وللأسف لم تتحقق هذه التوقعات العظيمة. فلقد شرب وسكر نوح، وتقاتل أبناؤه، ومضى كل منهم في سبيله.

من الواضح أن العالم كان يتطلب عقلاً دائماً، لكن صبأوت كان ذا عظام رخوة لا تنفع في شيء. من وقت لآخر كان السأم المطلق يؤدي به إلى سَوْرة غضب، فيحاول أن يسترد بعض النظام؛ ولأنه روح دافعة لم يستطع القيام بأي فعل منظم لتحسين شروط الحياة على الأرض، واستمر القبح والدماء في الازدهار.

في النهاية أدرك صبأُوت ـ وهو في أعماقه كائن عاقل ـ أن العالم يجب أن يحكم بشكل نظامي، ولكي يمارس تحكماً مؤثراً وفعالاً، عليه أن يجمع المعلومات عن موضوعات التحكم بطريقة نظامية. ورأى أيضاً أن التحكم الفعال من ذلك العلو الإلهي الشاهق عند العرش السماوي كان مستحيلاً (يفهم هذا الآن أي شيطان مبتدىء، لكنه كان في تلك الأيام البعيدة انقلاباً). ولهذا أرسل الرب ابنه يسوع إلى العالم، ومهمته إنشاء نظام موثوق لجمع المعلومات عن شئون الأرض، مع هذا فشل المسيح في إتمام مهمته العالية: مشىٰ على الماء. غذىٰ جموعاً غفيرة بسبعة أرغفة، وأبرأ العاهات الوقتية بالعلاج النفسي. لم يكن أمراً رديئاً استخدام مثل هذه الحيل الغريبة وهو يقوم بمهمته في الوقت نفسه. لكن بعد أن جمع حوله عُصبة من الرسل، وبدأ يقيم حول ذاته عبادة شخصية، نفد صبر الرب فقرر صلبه.

من هذه اللحظة بالذات، غسل الرب يديه من شئون الأرض. اجتاحته رغبة سرية في أن يقوم الشيطان بخطوات انتقامية قذرة ومدمرة ضد هؤلاء البشر غير العقلانيين الذين رفضوا العيش في وفاق مع الشرائع المقدسة. في البداية، نجح الشيطان نجاحاً معقولاً. أوقد الشيطان ـ ولا أحد غيره يعمل بأمر الرب وتصريحه ـ نيران محاكم التفتيش في أيام العصور الوسطى الحالكة. كانت خطة الشيطان قاطعة كما كانت بسيطة في الوقت عينه: إشعال النار في كل جديد متقدم قد يغير النظام المقدس القائم. لو أن تجربة الرب بالطوفان قد نجحت في تدمير كل شر، وإبقاء الأشياء الخيرة الجميلة فقط، لقام الشيطان بفعل النقيض، فدمر كل خير، وأزهر الدمار الأبدي بوفرة. لكن إنسان هذا الزمن كان قد وصل إلى مرحلة أصبح فيها قادراً على أن يعتني بشئون نفسه، ويحمل عبء التحكم، وأن يخرج الشيطان من مكمنه. الآن أصبح الشيطان محصوراً في ممارسة التفاهات.

هذه الحكاية البسيطة ـ كأي قصة خيالية أخرى ـ تعكس التصورات البدائية لبشر العصور البعيدة حول الظواهر الطبيعية التي كانوا غير قادرين على فهمها.

لا يحتاج الأمر أن تكون ملاحظاً متخصصاً لتدرك أن هناك مَيْلين قويين يعملان في العالم من حولنا. أحدهما يعتمد على الهدم، والآخر على البناء. بفضل النزوع الأول يهتز عالمنا بكوارث متنوعة تتسبب في مواقف مرعبة ومحزنة: تدمر الجسور والمنازل. تشيخ النباتات والحيوانات وتموت. . وهكذا. هذا الميل (الشرير) كان مسئولاً بجلاء عن ظهور المفاهيم الخرافية عن الشيطان في العصور البدائية، ذلك الشيطان الذي يشخصن مبدأ الهدم في عالمنا. بيد أن العلم الحديث يصف هذا النوع من الظواهر الطبيعية بمصطلح «القانون الثاني للديناميكا الحرارية» والذي يمكن أن نطلق عليه ـ حقاً ـ قانون الفوضى.

الفوضى:

إنَّ القانون الثاني للديناميكا الحرارية Thermodynamics، قد صيغ لأول مرة في عام 1829. صاغه المهندس الفرنسي سادي كارنو Sadi Carnot. ويمكن صياغة جوهر هذا القانون كالتالي: «إنَّ **كل نظام مغلق ـ أي كل نظام معزول كلياً عن أي نظام آخر ـ يميل إلى أن يصبح في حالته الأكثر احتمالاً، وهذه الحالة الأكثر احتمالاً هي الفوضى الكاملة**».

وهكذا طبقاً للقانون الثاني تصبح كل الأنظمة المغلقة غير منتظمة تدريجياً فتتحلل وتموت. في

العمل الهندسي تدعى هذه العملية غالباً بالتآكل. في البيولوجيا: الشيخوخة. في الكيمياء: التحلل. في علم الاجتماع: الفساد. في التاريخ: الانحطاط.

لكي نقيس درجة الخلل أو «الفوضى» في نظام ما، نستخدم مفهوم **عدم الانتظام** entropy، وهو خاصية تميز أي نظام، فكلما ازداد خلل نظام ما ازداد عدم انتظامه. بكلمات أخرى، إنَّ أيّ نظام مغلق لا يستطيع بذاته أن يزيد من حالة انتظامه. علينا أن نشير هنا إلى أن القانون الثاني هو قانون تجريبي، ومع هذا فهو صالح لكل الحالات.

هنا نسأل: لماذا لا يكون العالم حولنا في حالة من الفوضى الكاملة؟ بل لا يميل صراحةً نحو هذه الحالة، على نقيض ما يتطلبه القانون الثاني للديناميكا الحرارية؟ فالأنظمة البيولوجية على، سبيل المثال الكائنات الحية، هي أنظمة عالية الإحكام وذات مستوى ضئيل جداً من عدم الانتظام، فكيف لنا أن نقر بوجود مثل هذه الأنظمة التي لا تتفق مع القانون الثاني؟ مرة أخرى: يهدف التقدم الحديث إلى جعل الحياة أكثر انتظاماً عكس القانون الثاني، والنجاحات المحققة في هذا الاتجاه بيِّنة لمن يرى!

لا تناقُضَ هنا البتة. وحتى الآن لم يوجد شخص قد تحدى إطلاقية القانون الثاني جدياً. القضية هنا أن مفهوم «نظام مغلق» الذي يفترضه هذا القانون، هو مفهوم تجريد عميق. ففي العالم الواقعي لا يوجد ببساطة مثل هذا النظام المغلق، فكل الأنظمة الواقعية متشابكة ومتعلقة ببعضها البعض، والروابط بينها قد تكون قوية وقد تكون ضعيفة، لكنها دائماً موجودة. فضلاً على أنه من المستحيل جعل نظام ما مغلقاً بوسائل صناعية، لأن كل نظام يكون دائماً تحت تأثيرات حرارية وجاذبية راجعة إلى أنظمة أخرى أياً كانت درجة تأثيرها. لهذا لا يمكننا اعتبار أرضنا نظاماً مغلقاً، لأن الأرض تأخذ طاقتها من الشمس. الشيء نفسه بالنسبة لنظامنا الشمسي، فهو ليس نظاماً مغلقاً لأنه يتأثر بالإشعاعات وبالجاذبية الكونية. ومع أن مستوى الإشعاع الذي يستقبله النظام الشمسي منخفض، إلا أنه بمرور آلاف الملايين من السنين يكون لهذا الإشعاع المتراكم تأثير واضح عليه.

إنَّ هذه الحقائق تجعل من القانون الثاني قانوناً أكاديمياً، وتبدد التوتر العاطفي المتعلق بـ «الموت الحراري للكون». فما هو ذلك الموت الحراري؟

بكلمات قليلة، ارتكب علماء القرن الماضي خطأً في محاولة تطبيق القانون الثاني للديناميكا الحرارية على الكون كله باعتباره نظاماً مغلقاً (حتى الآن ما زال هناك بعض العلماء ملتصقين بهذه الرؤية)، فقادهم هذا إلى فرضية الموت الحراري للكون، فيبرز الكون الميت كامتداد لمادة مسخنة بالتساوي، حيث لا يوجد ارتفاع أو انخفاض في درجات الحرارة. بالتأكيد تميل زيادة عدم الانتظام في نظام مغلق إلى أن تساوي درجة الحرارة في كل نقاط النظام، وستصبح الحياة في كون كهذا مستحيلة، بسبب عدم وجود محرك ـ بالمعنى العام للكلمة ـ يستطيع أن يدور في غياب أي فرق حراري، فأي آلة تنتج عملاً، تفعل ذلك على حساب تبريد جزء ساخن، وتسخين جزء بارد.

ليست الكائنات الحية استثناء من هذا القانون، فأي كائن حي هو محرك عالي التعقيد، لا يستطيع أن يعمل دون فرق حراري بينه وبين محيطه، فإنْ لم يكن هناك فرق في درجات الحرارة، ستتوقف الحياة عن الوجود، ومن هنا جاء التعبير «الموت الحراري».

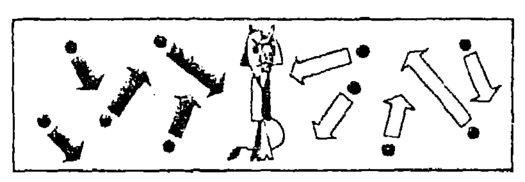
على الرغم من التناقض المنطقي والفهم السطحي لنظرية الموت الحراري، إلا أنها تعاني قصوراً قاتلاً، لأنها مؤسسة على افتراض زائف، لأن كل رعب الموت الحراري محتمل فقط في نظام مغلق، ومثل هذا الشيء لحسن الحظ غير موجود. لذا نحن ناجون من الموت الحراري بواسطة قانون **الاعتمادية المتبادلة**، وتشابك العلاقات بين الظواهر والأشياء في العالم. فلا الكون في مجمله ولا أي جزء منه يمكن أن يعتبر بأي طريقة نظاماً مغلقاً. لا ينطبق القانون الثاني على هذا ولا على ذاك، أي أننا غير مهددين بأي موت حراري.

لكن دعنا نعود إلى القانون الثاني للديناميكا الحرارية مرة أخرى. إنّه لا يستبعد احتمال انخفاض موضعي في عدم الانتظام (الاختلال entropy) حتى داخل نظام مغلق، فهو يسمح ببعض التنظيم الموضعي، لكن على حساب تحطيم حاد جداً لأي شيء آخر فقط. فالتنظيم الموضعي لجزء محدد من نظام مغلق يتم فقط في حالة أن يصبح بقية النظام أكثر اختلالاً وفوضى. مع هذا وطبقاً للقانون الثاني، فإن درجة التنظيم الجارية بالنسبة للنظام ككل لا تزداد.

إنّ أول من تعامل مع مشكلة رفع درجة الإحكام أو التنظيم في نظام ما هو ماكسويل (1831-1879)، حيث صاغ المسألة في مفارقة تعرف الآن بتسمية غريبة (**عفريت ماكسويل**) - (لا ينبغي الخلط بين العفريت والشيطان، فالشر لا يفعله العفريت عكس الشيطان. العفريت يحقق مهاماً مفيدة، ويمكن أن يعتبر حليفاً للإنسان في الكفاح ضد شيطان الفوضى).

عفريت ماكسويل

في عام 1871، أي ما قبل ظهور السبرنيتية لم تتفق مفارقة ماكسويل الذكية مع القانون الثاني للديناميكا الحرارية. ولسوف نرى ذلك الآن: افترض أن لدينا صندوقاً معزولاً ينقسم إلى قسمين عبر حاجز (كما في شكل 9).



شكل (9)

افترض أننا ملأنا القسمين بغاز في درجة حرارة ابتدائية واحدة. يمتلك هذا النظام - (صندوق يحتوي غازاً في درجة حرارة واحدة) - أقصى درجة عدم الانتظام، فلو اختلفت درجة حرارة أحد القسمين عن القسم الآخر، فإن النظام سيكون أكثر إحكاماً، وستكون درجة اختلاله بالتالي أقل. وطبقاً للقانون الثاني فإن درجات الحرارة في الجزأين تميل إلى التلاقي والتقارب. ويمكن ملاحظة ذلك تجريبياً كما يعرف كل إنسان.

سنصنع ثقباً في الحاجز الآن، وسنغلقه بضلفة نستطيع أن نفتحها ونغلقها في الوقت الذي نريد. إذا افترضنا أن الضلفة ستكون تحت تحكم «عفريتنا» المفترض (القدرات التي يؤدي بها وظائفه أعلى من

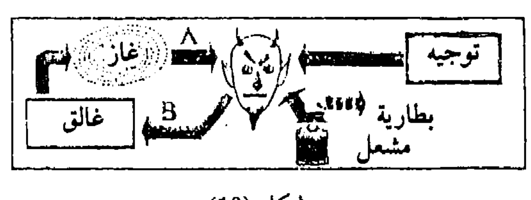
قدرات أي كائن، وهو مخلوق سحري لـه قدرات غـير محدودة). يعمـل العفريت طبقـاً للخوارزم Algorithm ـ أو خطة الحل ـ التالي: يفتح الضلفة ليسمح للجزيئات السريعة فقط بالمرور في اتجاه واحد من قسم لآخر، أما الجزيئات البطيئة فتمر في الاتجاه المعاكس. ويمكن تشبيه حركة جزيئات الغاز في الصندوق بحركة عدد من كرات البليارد التي تتحرك بسرعات مختلفة، تتصادم وترتد، وتتصادم وترتد مرة أخرى وهكذا، وتتبادل الطاقة طول الوقت.

تختلف سرعات الجزيئات كثيراً، والسرعة الفعلية لأي جزيء محدد في لحظة محددة تكون مسألة مصادفة كلياً. مع هذا، فإن السرعة المتوسطة للجزيئات ترتبط بدرجة حرارتها. كلما ازدادت السرعة المتوسطة، ازدادت درجة الحرارة والعكس بالعكس. وبالتالي يحتوي قسما الصندوق دائماً جزيئات سريعة تتجه نحو الثقب المغلق، وكذلك جزيئات بطيئة. مهمة العفريت أن يسمح أو يمنع الجزيئات من المرور من قسم لآخر اعتماداً على سرعتها.

من السهل ملاحظة أنه بعد أن يقوم العفريت بهذا لبعض الوقت، فإن قسماً سيحتوي نسبة أعلى من الجزيئات السريعة، وسيحتوي القسم الآخر نسبة أعلى من الجزيئات البطيئة، وستكون درجة الحرارة في الأول أعلى وفي الثاني أقل، وسيكون اختلال (عدم انتظام) النظام أقل مما كان عليه في البداية لأنه يحتوي الآن فارقاً حرارياً.

أمامنا الآن تناقض واضح، فنظامنا المغلق (الصندوق الذي يحتوي الغاز والعفريت) يكون قادراً على رفع درجة الانتظام بشكل واضح، على حساب التعارض مع القانون الثاني للديناميكا الحرارية. لم يتأت في الحقيقة تفسير تلك المفارقة إلا بعد اكتشاف علوم التحكم (السبرنيتية).

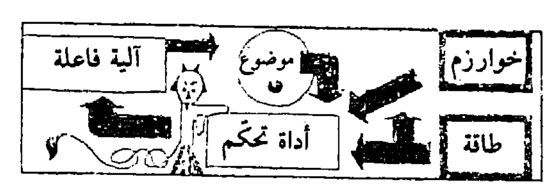
المسألة أن العفريت عندما ينابل الضلفة، فإنه يغذي النظام بالمعلومات، وهذه المعلومات هي التي تقوم بإحكام النظام، فعبر إخراج وتقسيم الجزيئات، يجعل النظام أكثر ترتيباً. إنه يُحْكِم النظام. بمعنى آخر، إنه يعمل على النظام بطريقة تجعله أكثر انتظاماً. كل هذا جميل، لكنه لا يمكن أن يتحقق دون ثمن. فلو استطاع العفريت التحكم بفعالية، عليه أن يستقبل معلومات عن سرعة الجزيئات، ويفترض بالتالي أن يكون النظام نظاماً مغلقاً، فلا نستطيع حتى أن ندع الضوء يمر إلى الصندوق من الخارج دون إبطال حالته المغلقة، وعلى العفريت نفسه أن يمده بالطاقة اللازمة للحصول على المعلومات اللازمة. قد يضيء الجزيئات ـ مثلاً ـ بمصباح صغير، وبالتالي لا بد وأن ينهك بطارية هذا المصباح، لذا فإن التنظيم الذي يتحقق يكون موضعياً فقط، لأنه سيؤثر فقط في الغاز. ينتج الانخفاض الموضعي لاختلال الغاز على حساب ارتفاع اختلال البطارية، فلو جمعنا هذين التأثيرين جبرياً، فلسوف نجد أن الاختلال الكلي لنظامنا المغلق (الغاز والبطارية) قد ارتفع معدله. يوضح شكل (10) العلاقة بين الغاز



شكل (10)

والعفريت والبطارية. هنا يستقبل العفريت معلومات عن حركة الجزيئات عبر القناة (A) وعلى أساس هذه المعلومات يتحكم في الضلفة «الغالق» عبر القناة (B)، وفي كل مرة يسحب الطاقة من البطارية. نتيجة لهذا يتم ضخ التنظيم من البطارية إلى الغاز. وفي تلك العملية تفقد كمية معينة من التنظيم حتماً (هذا الفقدان أو الخسارة تمثل في الشكل بسهم متقطع).

يحتوي الشكل على كل الملامح الضرورية لأي نظام تحكّم. موضوع التحكم في هذه الحالة هو الغاز. يقوم العفريت بدور آلة التحكم التي تعمل تبعاً لخوارزمات (خطط حل أو تعليمات). مصدر التنظيم هو طاقة البطارية. لا شيء غريباً في هذا الشكل، فهو يمسك بفكرة التحكم من كل جوانبها.



شكل (11)

أما الشكل (11) فيبيِّن شكل التحكم في أي نظام عموماً: وكما ترى فإنه صورة معدلة من شكل العفريت (10). نحصل هنا على المعلومات حول الموضوع بتبادل استهلاك معين من الطاقة يغذي باستمرار آلة تحكم تقوم بمهام العفريت نفسها. تقارن آلة التحكم المعلومات بالمتطلبات المنسوخة في خوارزمات التحكم (تعليمات التحكم) والتي تظهر في الشكل كمستطيل ثقيل، ويتم التحكم في النظام على أساس هذه المقارنة. إذاً، يتضح أن هناك عاملين ضروريين ضرورة مطلقة لكي يعمل النظام: (1) مصدر للإحكام أو تقليل الاختلال. (2) خوارزمات أو تعليمات التحكم، أي القاعدة التي يُنفّذ التحكم بها على أساس المعلومات المُستقبَلة (أي التي تتم تغذيتها). ويمكن حل مصدر الطاقة دون مشكلة كبرى، بواسطة القدرات الهندسية العالية التي تستخدم آلات بسيطة. على كل حال، ليس هدف صياغة تعليمات التحكم صعباً جداً.

يرتبط التحكم ـ أياً كان نوعه ـ بتنظيم «موضوع» ما. فهو نشاط هادف موجه نحو نقل موضوع من حالة أكثر احتمالية إلى حالة أقل احتمالية، وإشكالية تكوين وصياغة التحكم وتحليل عملياته هي إشكالية معلوماتية، لأنها هي التي تكون أساس السبرنيتية الحديثة. التحكم ما هو إلا وسيلة للعمل على كل ما يحيط بنا، لإخضاع الطبيعة للإنسان وتغيير عالمنا تغييراً عقلانياً. وبهذا المعنى يصبح التحكم متعارضاً مع القانون الثاني للديناميكا الحرارية حيث يقلل التحكم من اختلال النظام (الموضوع)، بينما تنص فرضية القانون الثاني على زيادة عدم الانتظام داخله. بيد أن التحكم يقوم بتنظيم موضعي فقط، بينما يطبق القانون الثاني على نظام مغلق كلياً، لهذا لا يمكننا القول إن التحكم يتناقض فعلياً مع القانون الثاني، لأن النظامين يعملان في مستويين مختلفين.

التحكم موضعي دائماً، بينما القانون الثاني كلي دائماً. إنه قانون كوني. إذا درسنا عمليات الشيخوخة والالتئام كدليلين على الاختلال والتحكم نقول إن الشيخوخة عملية نموذجية لزيادة عدم الانتظام. الالتئام عملية نموذجية للتحكم لتقليل اختلال الكائن الحي. تتقدم الشيخوخة لكل

الأعضاء في الوقت عينه بمعدل متواز. إنها عملية عامة شاملة تغمر كل خلايا الكائن الحي. أما الالتئام من الناحية الأخرى فهو موضعي، إنه يوجه لتحسين وظيفة عضو نوعي لا الكائن الحي ككل. وهذا ما جعل الطب الحديث ينقسم إلى مجموعة من العلوم الفرعية، كل منها مكرس للعلاج (أو التحكم) بالنسبة لعضو واحد، فهناك مثلاً علم أمراض القلب لعلاج القلب، الفسيولوجيا العصبية للدماغ، طب الأسنان للفم.. إلخ. من الجلي إذاً أن الشيخوخة تشمل كل الكائن الحي، بينما يهدف العلاج إلى التحكم في الأجزاء الفردية فقط.

بمدِّ هذه الفكرة أبعد من ذلك، يعمل القانون الثاني طول الوقت وفي كل مكان في الكون، لكن التحكم يعمل حيثما تكون هناك عمليات معلوماتية فقط، أي حيثما توجد برامج تشير إلى ما يجب عمله لتحقيق التحكم، والبرامج من هذا النوع هي نتاج نشاط واسع، وتنتج من ممارسة الكائنات الحية لوظيفتها، وهو ما يعطينا قاعدة ربط التحكم بالحياة. فإذا انتقلنا خطوة أخرى أبعد، نستطيع أن نؤكد أن كل عملية تحكم هي نتاج نشاطات الكائن الحي، الكائن الحي فقط. وهذا يعني أنه حتى في ظهور الحياة على الأرض لم يكن التحكم من أي نوع موجوداً كلياً. لكن ماذا عن البلورات؟ سيعترض القارىء المدقق. فمن منا لم تأته المناسبة ليؤخذ بالأشكال الخلابة دقيقة التنظيم، وبسطوح البلورات المعدنية وندف الثلج؟! بالتأكيد إنها مواد منتظمة انتظاماً راقياً. ومع هذا، تكونت البلورات دون مساعدة من أي نوع مثل ذاك النشاط الواسع الذي يقوم به الإنسان، بل أقل بكثير. ماذا حدث إذاً؟ وكيف نتغلب على مثل هذا التناقض؟

علينا أن نلاحظ أولاً أن عملية التبلُّر تتطلب فقداناً للطاقة، بينما لا يكون أي نظام تجري عليه عملية التبلر نظاماً مغلقاً، وبالتالي فإن القانون الثاني للديناميكا الحرارية لا ينطبق عليه كلياً. ومع هذا توجد هناك خاصية أساسية، لشرحها سنقوم بالتجربة التالية البسيطة: سنضع بعضاً من رمل الشاطىء العادي في كأس من الماء ونرجُّه بقوة، كما لو أننا نحاول إذابته في الماء. فإن رججنا الخليط أكثر، فإن الرمل والماء سيتجانسان، لكن بمجرد أن نوقف عملية إمداد الطاقة (الرج) سيترسب الرمل في قاع الكأس، وبالتالي سينفصل الماء والرمل عن بعضهما.

الآن، أي من هاتين الحالتين من حالات محتويات الكأس تمتلك درجة أعلى من التنظيم؟ لأول وهلة يظهر أن الرمل المرجوج بقوة يتماثل تماثلاً قوياً مع الفوضى، ولذا تبدو الحالة الأولى خالية كلياً من التنظيم، بينما تبدو الحالة الثانية أي الفصل الواضح بين الرمل والماء وكأنها تمتلك درجة عالية من التنظيم.

في الحقيقة إن عكس ذلك هو الصحيح. فالرمل المرجوج هو الأقل اختلالاً، ويحتفظ بهذا المستوى المنخفض عبر التغذية المستمرة بالطاقة. أما الفصل الحدِّي الواضح بين الرمل والماء في الحالة الهادئة من الناحية الأخرى، فيتمّ الحصول عليه فقط على حساب استهلاك الطاقة، بمعنى الطاقة الكامنة للرمل. ليس سراً أن كل العمليات تتم في اتجاه تقليل الطاقة الكامنة، وهذا الشرط في الحقيقة هو قاعدة إحدى صياغات القانون الثاني.

هذا هو ما يحدث مع البلورات، حيث يستدعي تكونها زيادة في الاختلال، ومن ثَمّ خسارة

التنظيم والإحكام، حتى وإنْ بدت ـ سطحياً ـ نمطاً عالي التنظيم. فالتبلر في الحقيقة هو عملية انتقال من حالة أقل استقراراً إلى حالة أكثر استقراراً مع فقدان مصاحب للطاقة.

نرى الآن أن مفهوم التحكم يستخدم في السبرنيتية بشكلٍ مختلف بوضوح عن فهمنا اليومي للمصطلح. في السبرنيتية يعني التحكم تلك الحالة التي تُشْبع هدفاً محدداً. أحياناً يتوافق الهدف المحدد مع النتيجة التي يصوغها القانون الثاني للديناميكا الحرارية. في مثل هذه الحالات يكون الهدف سهل التحقيق جداً. مثلاً، لكي تهدم عمارة، يكفي أن تنسفها بالديناميت، ويهتم القانون الثاني بالباقي: إنه يحول المبنى إلى كومة من الحجارة تؤكد الاختلال الكبير المحتمل وانتصار الفوضى. يحدث الشيء نفسه للرمل في الكأس بالضبط، يترسب الرمل في قاع الكأس تحت تأثير الجاذبية. هذا مثال متكامل للقانون الثاني لنظام مغلق: يتكون النظام من كأس مملوءة بالرمل والماء سوياً مع الأرض التي نعيش عليها (الأرض مشمولة هنا كمصدر للجاذبية بدونها لن يسقط الرمل إلى القاع). ولهذا، قبل أن يستقر الرمل في القاع، يصبح اختلال النظام أقل من اختلاله بعد الاستقرار. في الحقيقة نستطيع أن نتصور آلة تستفيد من طاقة الرمل الساقط ـ دولاب قدم مثلاً ـ يدور تحت تأثير الحبيبات الساقطة. مع هذا لو أردنا استرداد العمارة ـ يتعارض هذا مباشرة مع القانون الثاني ـ فلسوف نقوم بكمية كبيرة من العمل لتقليل الاختلال وإرجاعها إلى حالتها النظامية مرة أخرى. عندما نتحدث عن العمل هنا، فنحن نفكر ـ لا بمصطلح استهلاك الطاقة رغم أهميته الحيوية للمشروع ـ وإنما بمفهوم استهلاك المعلومات.

هنا نواجه مقاربة أخرى حول التحكم حيث يلعب مفهوم الهدف دوراً حاسماً.

التحكم كوسيلة لتحقيق أهداف نوعية:

هل تعتقد أن الموضوعات التالية تشترك في شيء ما: عفريت ماكسويل وثرموستات (مثبِّت حراري) وعامل نظافة، وخرّاط، وإداري، ومهندس تصميم، وباحث؟

عفريت ماكسويل مخلوق افتراضي، تصوره ماكسويل لغرض بناء مفارقة لا يمكن حلها إلا بالعودة إلى مفهوم التحكم. المثبت الحراري أداة للتحكم في درجة الحرارة وهو يعمل كما يلي: لو انخفضت درجة حرارة الحجرة عن الدرجة المطلوبة، يفتح المثبت الحراري المسخن، وعندما ترتفع درجة الحرارة عن القيمة الحالية، يغلق المسخن. أما عامل النظافة والخراط والإداري والمهندس والباحث، كلهم أناس يقومون بوظائف مختلفة في المجتمع. للوهلة الأولى لا يظهر المشترك بين كل هؤلاء، ولا نستطيع حتى أن نقول بأنهم يشتركون في الوجود المادي، لأن العفريت مخلوق خيالي لا وجود له. ومع هذا، هناك مشترك بينهم جميعاً، وهو قصدية الهدف لنشاطاتهم، كلهم أدوات تحكم، فَعْلُها موجَّه نحو تحقيق أهداف نوعية، وهم بالضرورة ينظمون «نظاماً ما» ويقتربون به من **الكمال**، بكلمات أخرى، إنهم يقللون من درجة اختلاله.

إنَّ الميزة المحددة لأي أداة تحكم هو سلوكها الهادف، الذي يقصد تحقيق غاية نوعية، ويطبق هذا النشاط مباشرة على النظام قيد التحكم والسيطرة، وغرضه الوحيد أن يجعل النظام ذا هدف مثالي واضح.

بالنسبة لعفريت ماكسويل، الهدف هو رَفع تركيز الجزيئات السريعة في جزء من الصندوق،

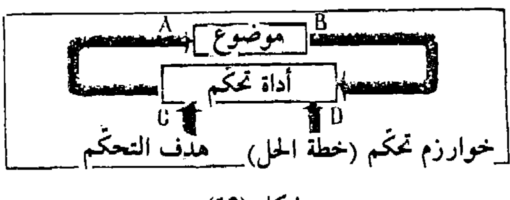
والجزيئات البطيئة في الجزء الآخر. وبالنسبة للمنظم الحراري، الهدف هو المحافظة على درجة حرارة الغرفة في مستوى محدد. ولن يجد القارىء صعوبة في أن يصف لنفسه أهداف أدوات التحكم كعامل النظافة والخراط والإداري . . إلخ .

مع هذا، لا يكفي أن نعرف الهدف ببساطة لنصل إلى تحكم فعال، بل نحتاج أيضاً أن نعرف كيفية تحقيقه، وكيف نكون قادرين على التأثير في الموضوع قيد التحكم بطريقة تجعل خطتنا فعالة في تنفيذها، وهذه مسألة أكثر صعوبة من مجرد معرفة الهدف.

بالطبع، يمكن حل هذه المشكلة بسهولة في بعض الحالات. مثلاً، عندما تكون حرارة الغرفة منخفضة جداً، يفتح المثبت الحراري زر المسخن بدلاً من الذهاب والتعرض لشمس إفريقيا. وعندما تكون درجة الحرارة عالية جداً فإن المسخن ينغلق تلقائياً أو ينفتح المكيف الهوائي. ومع هذا، فإن ذلك النوع من التبسيط هو الاستثناء لا القاعدة، فعادة ما يكون صعباً للغاية التحديد الدقيق لكيفية تحقيق الهدف المطلوب، مما يقودنا إلى النظر في المفاهيم الأساسية للسبرنيتية الحديثة، وهي «خوارزمات التحكم = خطط الحل».

خوارزمات التحكم هي طريقة تحقيق الهدف المطلوب، وهي نوع من قاعدة للعمل، وهذه القاعدة بالنسبة لعفريت ماكسويل هي تعليمات توزيع الجزيئات طبقاً لسرعتها، وبالنسبة للمنظم الحراري هي قاعدة فتح أو غلق المسخن أو المبرد. عامل النظافة يحقق هدفه في شارع نظيف بإزالة النفايات بمساعدة المكنسة وصناديق القمامة. أما الخراط فيحقق هدفه ـ صناعة قطعة غيار أو جزء من آلة طبقاً لتصميم أو رسم ـ عن طريق تطبيق تعليمات إزالة المعدن الزائد بواسطة ماكينة الخراطة. يعمل الإداري على تحقيق غايته ـ إنجاز خطة أو عمل محدد ـ باستخدام التعليمات على شكل مكافآت أو عقوبات لمرءوسيه طبقاً لاجتهادهم في عملهم لتحقيق الهدف.

إنَّ قائمة الأمثلة يمكن تعدادها بلا نهاية، ومع هذا من المُجدي أن نتصور نظام تحكم عام بطريقة مستقلة عن الخواص النوعية لإحكام موضوع محدد أو التحكم في نظام غير نوعي (شكل 12).



شكل (12)

يُرينا الشكل رسماً تخطيطياً لنظام تحكم عام، يشير السهم B, A إلى تفاعل الموضوع (النظام) مع أداة التحكم. تستقبل أداة التحكم المعلومات عن النظام عبر القناة (B) (لأنك لا تستطيع أن تأمل التحكم في أي شيء لو أنك لا تعرف إن كنت على دراية بخطة الحل أم لا)، ثم يعمل على النظام عبر القناة (A) وهكذا يتحكم فيه (لأنه لو لم تستطع عمل شيء للنظام فإن التحكم سيكون مستحيلاً مرة ثانية). مع ذلك، فإن هذه ليست الصورة الكاملة كما أشرنا من قبل، فما زلنا نحتاج إلى أن نعرف ماذا سنفعل بالمعلومات المستقبَلة وكيف نستخدمها للتحكم في النظام، وما تهدف إليه بالضبط من العملية،

لكي تستوفي هذه المتطلبات؟ يوجد مدخلان آخران لتغذية أداة التحكم. هدف عملية التحكم هو سهم (C) في الشكل، خطة الحل أو الخوارزم سهم (D). هذه البيانات يتم إدخالها (تغذيتها) في وحدة التحكم أولاً. فإنْ طرح نظام التحكم الأمر المطلوب على النظام، فعليه أن يحتوي على عنصرين أساسيين: (1) هدف التحكم، (2) خوارزمات التحكم التي تبين كيف يمكن الوصول إلى الهدف. إن نظام التحكم هذا صالح لأي موضوع يراد التحكم فيه. مرة أخرى نقول إنه سوف يعمل فقط بواسطة برنامج تحكم أو خوارزمات تحكم (سهم D شكل 12). ومثل هذا البرنامج لتنظيم إحداث تغييرات هادفة لموضوع التحكم، يجب أن يكون مشمولاً في أداة التحكم، وذلك ما يجعلها تقوم بتنظيم «النظام» وتصل به إلى الحالة المرغوبة ذات احتمالات أقل. وعندما يتم هذا فقط، نستطيع أن نأمل بتحسن الموضوع.

إن كل فعل تحكم هو نتيجة سلوك هادف. لكننا نعرف أنه لا يوجد مثل هذا السلوك الهادف في الطبيعة الجامدة. هناك يصبح القانون أو المبدأ الثاني للديناميكا الحرارية متحكماً بفعل الفوضى، وتصبح الفوضى القصوى هي غايته «الهادفة». لذا من الطبيعي أن نفترض بأن القصدية والغائية في عالمنا ترجعان إلى وجود درجة من القصدية والغائية في الماضي.

لو أردنا أن نضيء مصباحاً كمثال، فإننا سنضغط على المفتاح، وهذه في الحقيقة عملية تحكم تصل بالنظام - الحجرة المظلمة هنا - إلى الحالة المطلوبة (الإضاءة). هنا تكون خوارزمات التحكم تلك القاعدة: «اضغط المفتاح الكهربي». لكن لو افترضنا أننا لا نعرف هذه القاعدة، فلن تكون أمامنا طريقة إطلاقاً لإضاءة الحجرة بالشكل المطلوب. إنّ التحكم في إضاءة حجرة يصبح ممكناً فقط عندما نعرف الخوارزمات.

هكذا نرى أن تقدم وتحسن المادة في العالم يعتمدان كثيراً جداً على خطط تحكم محددة بفضلها يتحقق التقدم. على الرغم من ذلك فإن خطط التحكم نفسها هي نتاج التنظيم. لو أردنا أن نعرف كيف نتحكم في نظام ما حقاً، فعلينا أن نحصل على الخوارزمات المطلوبة من شخص ما. مثلاً، لكي نكون قادرين على إضاءة مصباح، علينا أن نتعلم من إنسان ما كيف نفعل هذا. وهذا (الإنسان) يعرف مسبقاً غرض فتح الدارة الكهربية، وينقل هذه المعلومة لنا في عملية تعلم، لذا فإن التعليمات لا يمكن وضعها في نظام تحكم دون مساعدة خطط حل مسبقة.

يمكن أن نرى من مثال «عفريت ماكسويل»، أنه لرفع حالة تنظيم الغاز، علينا أولاً أن نخترع الخوارزمات بأنفسنا (أي توزيع الجزيئات في القسمين المختلفين للصندوق طبقاً لسرعتها). ثم علينا أن ننشيء العفريت، أي آلة أو أداة قادرة على العمل تبعاً للتعليمات المعطاة. لكن ماذا نعني هنا بكلمتي «نخترع»، «ننشيء»؟

هذه النشاطات هي أيضاً ذات غايات، ولذا يجب أن تكون مصحوبة بتخفيض الاختلال. فلو أن علينا أن نخترع أو ننشيء، فذلك يحتاج أن نعرف تعلميات «كيف نخترع» و «كيف ننشيء».

نخلص سريعاً إلى أنه يجب أن تكون هناك سلسلة كلية من التعليمات كالتالي: على رأس السلسلة نتوقع وجود أبسط التعليمات القادرة على خلق كل الباقي. أي يجب أن تبتدىء بشيء يشبه

كثيراً «فعل الخلق».

في الحكاية الدينية عن خلق العالم أن الرب خلق الكون، ولأن الرب نظام عقلاني عالي التنظيم عرف كيف يخلق، فهو قبل كل شيء إله. لكن من خلق الرب وعلّمه كيف يخلق قبل ذلك؟!. هذا ما لم يجب عليه الكتاب المقدس. وإذا أخذنا أسطورة جميلة أخرى ـ أسطورة بروميثيوس الذي علّم البشر كيف يحصلون على النار، وكيف يستخدمونها طبقاً لحكايات الإغريق القدامى (بلغة السبرنيتية، عرف بروميثيوس تعليمات صنع النار وتعليمات شوي اللحم وصهر وإذابة المعادن، ومعلومات مفيدة متنوعة تغطي موضوعات واسعة التباين) نسأل ولكن من علّمه كل ذلك؟ من أخبره بكل هذه الخطط؟ زيوس؟ لكن من الذي علم زيوس؟ إنَّ هذا النوع من العقلنة السببية ينتهي دائماً بمأزق. فلو أن كل التحكم هو نتاج نشاطات الكائنات الحية، ولو أنها هي ذاتها نتاج للتحكم، أو بكلمة أخرى نتاج التحكم الذاتي، فمن الطبيعي أن نسأل من أين أتت اللحظة الأولى للتحكم فوق الأرض؟ من أين جاءت الحياة على الأرض؟

إنَّ الإجابة التي تنقذ كل هذا الجدل ـ أو بشكل أدق ـ بديل إجابة، تستند إلى مصدر كوني غير أرضي للحياة، كما تفترض نظرية البذور الكونية Panspermy، لكن لو سألنا من أين نبعت تلك الحياة الكونية غير الأرضية؟ فإن هذه النظرية ستعتبر السؤال سخيفاً. الحياة هي الحياة وهذا كل شيء. وإذا كانت هناك حياة فهناك تحكم. هذه الإجابة بالنسبة لي صحيحة كلياً وغير كافية كلياً. فالتحكم كوسيلة لتقليل الاختلال وتحسين التنظيم له تاريخ مثير. وسيقدم لنا طريقة أخرى للخروج من المعضلة. لكتابة تاريخ كهذا، علينا أن نتذكر فقط أن خلق تعليمات التحكم لا تتقدم بالنقل الوراثي فقط، وإنما بالتنظيم التلقائي أو التوالد التلقائي أيضاً. ويعني ذلك أن تعليمات التحكم يمكن أن تخلق نفسها وتكوِّن ذاتها. فكيف يحدث هذا؟ منذ وجد التحكم تطورت طرق كثيرة لتكوين تعليمات التحكم. ويمكن تقسيم التحكم إلى أربع مراحل بظهور طرق ووسائل جديدة لتكوين تعليمات التحكم.

- 3 -

تاريخ التحكّم

يمكن أن نعطي مراحل التحكم الأسماء التالية: **المرحلة الأولى**: مرحلة الاحتمالات؛ **المرحلة الثانية**: مرحلة العناصر الأولية؛ **المرحلة الثالثة**: مرحلة المهارة والذكاء؛ **المرحلة الرابعة**: المرحلة الشاملة العامة. سندرس الآن كل مرحلة على حدة.

المرحلة الأولى:

بدأ التحكم على الأرض بمرحلة الاحتمالات (لا يلغي هذا خطوط التطور الأخرى الممكنة ضمن شروط مغايرة وفي كواكب أخرى أو نظم نجمية أخرى). تتميز هذه المرحلة بتكون نظم أكثر بساطة يمكن أن ندعوها نظماً محكمة، وقد حدث ذلك عبر المصادفة. تأخذ هذه النظم شكل جزيئات بروتينية وأحماض أمينية متنوعة. تكونت هذه الأنواع بالصدفة نتيجة لشحنات كهربية موجودة في الغلاف الجوي للأرض، والتي تكونت في ذلك الوقت من بخار الماء (H_2O) والميثان (CH_4) والأمونيا (NH_3) والهيدروجين (H_2).

تفاعلت هذه المواد مع بعضها البعض عشوائياً، فكونت مركبات أكثر تعقيداً بعضها امتلك ثباتية استمرت في الحياة لبعض الوقت متفاعلة مع مركبات مشابهة أخرى. أما البعض الآخر فقد تفكك بسرعة وشارك في تفاعلات واتحادات عضوية جديدة.

نتيجة لهذه المحاولات الأخيرة لكل الاتحادات التركيبية العشوائية، فإن المكونات الأكثر ثباتاً واستقراراً تتقدم بالتدريج إلى مراحل أكثر تقدماً من التطور. تستمر في الوقت نفسه الجزيئات الأكثر نشاطاً في أن تجد لنفسها موطىء قدم في اللعبة، بينما تنسحب البنى الخاملة. هناك شرط ضروري لاستمرار مثل هذه العملية، هو أن المتفاعلين سوياً يكونان في حالة من حركة الطاقة الفعالة، ويشكل الغلاف الجوي الهائج الدوّار للأرض في مراحلها الأولى شروطاً مثالية.

لقد قام العالم الأمريكي س. ميللر بتجربة مثيرة كانت بسيطة جداً، وخلاقة نافعة في الوقت نفسه. حيث وضع خليطاً من الغازات المشابهة للغلاف الجوي المفترض للأرض «الأولى»، ومرر شحنات كهربية عبره تشبه الإضاءة. بعد نهاية أسبوع قام بتحليل كيميائي دقيق للخليط. يمكنك الآن أن تتخيل دهشته عندما اكتشف أن الأنبوب احتوى على أحماض أمينية، والأحماض الأمينية هي أحجار البناء الأساسي للبروتينات التي هي أساس الحياة نفسها. لقد كان قادراً بدون شك على إيجاد الحمضيْن

الأمينين الشائعي الوجود في البروتينات وهما الجلّيسين والآلانين، اللذان لهما تركيب معقد للغاية.
فكيف تكوّنا؟

الإجابة المعقولة الوحيدة هي الصدفة. فبفضل تعدد اتحادات وروابط عرضية تكونت بين جزيئات الماء والأمونيا والميثان والهيدروجين تحت شروط درجات حرارة عالية أنتجتها شحنات كهربية، ظهرت جزيئات أكثر تعقيداً. كان هناك وقت كاف لذلك، فلقد هاجمت الغلاف الجوي والمائي عواصف قوية لعدة ملايين من السنين قبل أن يظهر إلى الوجود «الحساء» المغذي للحياة (الأحماض الأمينية المختلفة). وفي هذه العملية كان دور المصادفة حاسماً.

قبل هذا، كان للقانون (المبدأ) الثاني للديناميكا الحرارية تأثير سابق على ظهور هذا «الحساء». فطبقاً لهذا القانون لم تستطع الجزيئات الكبرى أن تتوزع بالتساوي بين الماء. بالضبط كما يتكثف بخار الماء المشبع لتكوين ضباب عبارة عن قطرات دقيقة من الماء. أما الجزيئات الكبيرة في المحلول فقد اتحدت في عناقيد منفصلة تماسكت سوية بقوة كهربية ساكنة. عندما وصلت هذه العناقيد لكثافة محددة، انفصلت عن المحلول لتكون ما عرف باسم «القوصرة» Coacervate بقيت عائمة على سطح المحلول. ثم انفصلت هذه القطرات عن الوسط المحيط بسبب التمايز والانفصال الحاد بين سطحيهما (المحلول والعناقيد).

على الرغم من أن نزوع هذه القطرات إلى التكون لم يكن عمل صدفة في حد ذاته، إلا أن الاتحاد الفعلي بين جزيئات الأحماض الأمينية كان عمل مصادفة. كل قطرة حمض أميني لها تركيب ذاتي مميز جداً. عند هذه المرحلة تقوم عملية انتقاء خاصة بالعمل، عملية اكتشفها ودرسها ووصفها الأكاديمي الروسي أ. أوبارين.

من الجلي الآن، لو أن تركيباً عرضياً لقطرة ما أصبح غير مستقر، فإن القطرة ستنقسم على نفسها تحت تأثير قوى خارجية، وبالتالي سيُحتفظ بالقطرات ذات الاتحادات أو الاندماجات المستقرة، بينما ستموت المركبات غير المستقرة، وسيعاد تكوّن بقاياها إلى مركبات صُدفية بعد ذلك.

يتضح أنه بعد مرور زمن طويل جداً على هذه العملية، فإن القطرات (القوصرات) المستقرة فقط هي التي ستبقى في النهاية، أي تلك المركبات القادرة على الصمود في وجه قوى الهدم في الوسط المحيط.

القوصرة الثابتة، مثلها مثل أي جسم آخر، ستمتزّ absorbs الجزيئات المختلفة في المحلول، فيكبر حجمها. وهذه الجزيئات الجديدة لن تربط نفسها بعد ذلك على سطح القطرة (القوصرة) بشكل عشوائي، لكنها ستنتظم منسجمة مع تركيبة سطحها المميز تمييزاً خاصاً. ستنمو القوصرة فتتحول إلى كتلة: لن يتقدم نمو هذه الأبعاد تقدماً عشوائياً، ولكن طبقاً للخواص النوعية لكل قطرة. عندما تصل القطرة إلى حجم محدد، تصبح غير مستقرة آلياً، وتتصدع إلى جزأين أو ثلاثة أجزاء تحت تأثير القوى الميكانيكية الخارجية ـ مثل قطرة مستحلب التي تنقسم بعملية الرج. وتمتلك القطرات المتكونة حديثاً تركيب القطرة الأصلية نفسه: سترث خصائص القطرة الأم وراثة نوعية، ثم تنمو هي بعد ذلك وتنقسم إلى أجزاء على شاكلتها.. وهكذا دواليك.

رغم ذلك فليست تلك هي الحياة. إنها فقط ما يعرف بـ «التركيب ما قبل الحيوي». وهو يمتلك تقريباً كل الخصائص المميزة للحياة، لكن في أشكال بدائية ساخرة. تشبه القطرة (القوصرة) الخلية حقاً، ويمكن اعتبار تجمع جزيئات المحلول على سطح القطرة شكلاً من أشكال التغذية، واعتبار الانفجار الآلي الفعلي للقطرة الكبرى شكلاً من أشكال الانقسام الخلوي، بل ويمكن مدّ التناظر ليشمل عناصر الوراثة. بالضبط كما الحياة الحقيقية!!، لكن الحياة الحقيقية كان لا يزال أمامها وقت طويل جداً. مرت عدة ملايين من السنين قبل أن ينجح الانتقاء الطبيعي في تحويل هذه القوصرات إلى خلايا حية. كانت المواد الضرورية موجودة. وكانت المسألة مسألة وقت فقط، وللطبيعة مخزن هائل من الزمن، فلا مشكلة، حيث مرَّ حوالى بليون أو بليون ونصف من السنين، لتظهر الكائنات متعددة الخلايا، فالأشكال اللثية mucilaginous، كالهلامات النباتية أو شبه الفطرية في الحياة المبكرة، وهي التي فتحت الطريق تدريجياً لأنواع نشطة مثل المخلوقات الحية المألوفة لنا اليوم.

إذاً، تتميز مرحلة الاحتمالات Probability Stage في تاريخ التحكم، تتميز أساساً بغزارة حوادث المصادفة التي جعلت من الممكن خلق الحياة على الأرض. لذا نستطيع أن نؤكد بجسارة أن المصادفة هي السبب الجذري لظهور الحياة على الأرض. كان التخليق الفعلي للحياة في الحساء المغذي عملية مصادفة، ومع هذا عندما امتلكت تلك الشروط التي وصفناها كان من الحتمي أن تظهر الحياة. فبعد كل شيء، وعلى مدى ألف مليون سنة، وبالمحاولات العشوائية لكل الاتحادات والاندماجات التركيبية الممكنة للجزيئات العضوية المختلفة، كان حتمياً أن أحد هذه الاندماجات على الأقل سينجح في امتلاك خواص الخلية الحية.

إنَّ لحظة حدوث هذا هي التي تميز تاريخ الحياة، وتميز نهاية مرحلة الاحتمالات في تاريخ التحكم. وتتميز هذه المرحلة بالظهور الصدفي لانخفاض الاختلال الموضعي، ذلك الانخفاض الناتج عن القوانين الإحصائية.

لكن عندما ظهرت الحياة، جاءت بإمكانيات التحكم الجديدة معها.

المرحلة الثانية:

تختص مرحلة العناصر الأولية Elemental Stage في تاريخ التحكم بتطور وتحسن الكائنات الحية. خوارزم التحكم هنا كان تعليمات الانتقاء الطبيعي، ذلك المبدأ الذي اكتشفه تشارلز داروين. وطبقاً لهذا المبدأ، فإن الفرد الذي يتكيف جيداً مع بيئته، تكون له قابلية أعلى في التكاثر، أما الأضعف تكيفاً يتلاشى دون تكاثر، ويظل قصور قدرته على التكيف قائماً. ونتيجة لهذا الاصطفاء الطبيعي، بدأ التنوع الواسع لتعليمات التحكم في الظهور؛ تشمل هذه التعليمات ضبط السلوك الآلي «التلقائي» للكائنات الحية: كالسباحة، الزحف، الطيران، المشي. وتعليمات ضبط الوظائف العقلية: كالعدوانية، التملص، الهروب، القتل. . إلخ. وتعليمات تختص بعمل الجهاز العصبي، وهكذا.

أثناء تلك المرحلة، كان تكوّن أي توجيه تحكم جديد مشروطاً بقانون الانتقاء الطبيعي بطريقة أو بأخرى. فمن بين كل «الخوارزمات» التي ظهرت للتنظيم الذاتي للكائنات الحية، بقيت تلك التعليمات التي جعلت الكائن الحي قادراً على التعامل الفعّال مع محيطه.

لا يمكن لنا الاقتراب من الطبيعة دون أن نلاحظ غرائبها أحياناً: فالنعامة مثلاً، تدفن رأسها في الرمل عندما يواجهها خطر كبير. وأصبح هذا السلوك الغريب تعبيراً مجازياً عن الغباء الذي يميز عدم القدرة على مواجهة الحقائق. فمن أين جاء هذا التوجيه الواضح «الحمق» لسلوك يواجه خطراً؟! وكيف ظهر أول مرة؟ وهل من الأفضل المهاجمة أم الهروب؟ هل زلّت الطبيعة هنا؟!.

بدراسة الأمر عن قرب، يتضح أن النعامة التي ليس لها أسنان ولا قرون ولا حوافر، تكون خطط حل أو تعليمات التحكم في سلوكها معقولة جداً في مواقف يصبح فيها الهروب مستحيلاً. فعندما تدفن النعامة رأسها في الرمل، فإنها لا تستطيع أن ترى مصدر الخطر، وتبقى جامدة. وللغرابة ـ كما يبدو ـ أنها تفلت من فك الحيوانات المفترسة، والسبب أن آكلات اللحوم تتغذى على الحيوانات التي تقتلها فقط (هذا مثل منطقي آخر عن التكيف خاصة في البلدان الحارة). النعامة الجامدة بلا حركة لا تفتح شهية المفترس الذي سرعان ما يصطاد ظبياً ينطلق في الأفق، بدلاً من أن يمسك بكتلة من الريش على بعد ياردة أو أكثر. وهذا ما ينقذ النعامة فعلاً. لكن، لماذا على الطائر أن يدفن رأسه في الرمل بدلاً من مجرد الوقوف جامداً لا أكثر؟! الإجابة أن هذا الفعل يجعل التوتر العصبي في أدنى درجاته، وذلك يقدم للتعليمات المختارة أقل التجارب قسوة. ويستخدم الإنسان الوسيلة نفسها عندما يواجه دباً، وذلك بالقصد لا بالغريزة، دون أن يدفن رأسه في الرمل كما تحكي لنا الكتب التي تتحدث عن الموضوع.

نرى الآن أن هذه المرحلة من تطور التحكم تتميز كلياً بالطبيعة الأولية للعناصر في عملية اختيار تعليمات التحكم الفعالة في الكائنات الحية.

المرحلة الثالثة:

ترافقت تلك المرحلة بالنشاط الإنساني، فحينما ظهر البشر على مسرح التاريخ، أعلن الإنسان مباشرة، قدرته على خلق خوارزمات التحكم باستخدام ذكائه بدلاً من الاعتماد الأولي على الصدفة، وميّزته تلك القدرة عن سائر الحيوانات الأخرى.

لنكون أكثر دقة نقول بأن مرحلة البناء الذكي لخطط التحكم لم تظهر بظهور الإنسان نفسه وإنما بدأت مع نشاطه العقلاني، وتختلف هذه المرحلة عن المرحلتين السابقتين في أن تعليمات التحكم يخلقها الإنسان بنفسه.

يشكل تطور الحرف والعلوم قاعدة نشاط التحكم الإنساني، وبدأ الإنسان يصنع النظام في العالم حوله باختراع كثير من خطط تغيير الطبيعة القصدي والمنظم، وتتميز هذه الخطط بفرادتها، لأن كلا منها تطبق على موضوع طبيعي مختلف. تختلف مثلاً حرفة الخزاف عن حرفة الحداد لأن الموضوعات (المواد الخام) التي يعملان عليها مختلفة: الصلصال اللين من جانب، والمعدن الساخن الأحمر من جانب آخر. وتختلف أيضاً تعليمات التحكم لتشكيل هذه الأشياء المختلفة.

من المستحيل خلق خطط تغيير العالم دون فهم جيد لما يسيّره، بكلمات أخرى: دون تطور العلم كنظام معرفة منتظمة حول الطبيعة، تلك المعرفة التي اكتُسبت نتيجة لتفسير الظواهر وفهم ملامحها الأساسية، وكذلك كشف طبيعتها عبر الملاحظة الدائمة. لكن ماذا نعني بفهم وتفسير الطبيعة؟ ما هي

المعرفة؟ وهل يمكن أن نعبِّر عن تلك المفاهيم الضبابية بدقة وتحديد قابلين للتقييم الكمي؟

نعم يمكننا ذلك. وللفعل نحتاج فقط إلى القدرة على التنبؤ بمسار وسلوك الظاهرة المدروسة. قدرتنا على التنبؤ رهن ـ لحد مهم ـ بكمية المعلومات التي في حوزتنا حول الموضوع المدروس. فإن كنا نعرف كثيراً عن عملية ما، فإننا نستطيع التكهن الدقيق بما سيجري في المواقف المختلفة، وبالفرق أو اختلاف المسار الفعلي الذي تأخذه عملية حقيقية وسلوكها المتوقع. فكلما انخفض الفرق في مسار الفعل كلما تحسنت حالتنا المعرفية بشأن العملية المعطاة، وعظمت قيمة فهمنا لطبيعتها، وهذا هو ما يميز ضمانة التنبؤ والتكهن الدقيق.

لا نستطيع طبعاً أن نؤكد أن قدرتنا على توقع شيء ما بدقة مساوية دائماً لمعرفة عميقة. لكن هاتين ترتبطان ببعضهما دون اعتراض. كقاعدة، تعتمد قدرتنا على التنبؤ بسلوك أي عملية على فهم عميق لطبيعتها. على هذا الأساس سيكون مناسباً أن نعرِّف المعرفة باعتبارها القدرة على التنبؤ. ولسوف نعتبر «نموذج الظاهرة» هو نظام الأحكام والخلاصات التي تسمح لنا بتوقع سلوك ظاهرة محددة بطريقة محددة. فإذا أخذنا ظاهرة سقوط حجر على سبيل المثال، يمكننا أن نقيم علاقة بين الارتفاع والزمن عند إلقاء حجر من ارتفاعات مختلفة وقياس زمن سقوطه. هكذا نصوغ قانون السقوط الحر، وهو قانون يكوِّن النموذج الذي يسمح لنا بالتكهن بسلوك حجر ساقط من ارتفاعات مختلفة. وإذا أخذنا مثالاً آخر سنؤكد «نموذج الظاهرة» لجريجور مندل الذي صاغ قوانين الوراثة عندما لقح سلالة البازلاء ذات الزهور الحمراء بالبازلاء ذات الزهور البيضاء، فأوضح لنا الخواص الموروثة التي تنتقل من الآباء في وحدات وراثية محدودة لا يمكن انقسامها بطريقة انتقال الطاقة نفسها في كمات quanta (أي أجزاء محددة صغيرة جداً لا يمكن رؤيتها). كذلك فالوراثة تنتقل عبر هذه الجزيئات التي تسمى الجينات (المادة الحاملة للصفات غير المرئية). ففي تجربة مندل مع البازلاء ـ كمثال ـ تكون النباتات المهجنة دائماً إما حمراء أو بيضاء الزهور، ولكن لن تكون أبداً زهوراً ذات ألوان وسطية كاللون الوردي. وهذا يعني أن لون الزهور يتحدد بواحد من الجينين (جين الزهرة الحمراء وجين الزهرة البيضاء) ولا توجد جينات أخرى لتحديد لون الزهور. لقد اختزل مندل تجاربه في قانون الوارثة الذي ينصّ على أن صفات الوالدين لا تؤخذ بالمتوسط أثناء انتقالها ـ أي لا تنتقل بالتساوي ـ إلى الأجنة، ولكنها تنتقل على هيئة صفات فردية (أنف الأب ـ عيني الأم ـ طبع الجدة.. إلخ). وهذا القانون هو النموذج الذي يسمح لنا أن نعرف الطريق الذي ستورث به صفات الآباء.

لهذا نرى أن معرفتنا للعالم تقوم على نماذج ظواهره، وتجعلنا هذه النماذج نعرف مسبقاً نتائج تفاعلاتنا مع «الموضوعات/الأشياء» التي تبني عالمنا. ولنأخذ مثالاً بسيطاً: لو لم نعرف قانون سقوط الأجسام، لما كنا قادرين على استخدام الصواريخ القاذفة، فبدونه لا يمكن التنبؤ بمكان سقوط الصاروخ.

إن خلق هذه «النماذج» هو أيضاً عملية ترفع من مستوى تنظيم التفكير الإنساني، ويمكن رؤية النتائج الملموسة لحالة التنظيم تلك في الأفعال القصدية التي يؤديها الإنسان على أساس النماذج التي يمتلكها. خذ على سبيل المثال صياداً ما. الصياد يتدرب عبر الكتب والقصص والتجارب، وعندما يكتسب في النهاية خبرة ميدانية حقيقية، فإنه يتعلم النماذج السلوكية المميزة للحيوانات المختلفة.

بكلمات أخرى، يكوِّن نماذج عن سلوكها في دماغه، ثم يستخدمها عندما يخطط للصيد. نرى هنا نموذجاً غير مادي (عقلياً) للسلوك، يجعل من الممكن القبض على الحيوان بسهولة، مع كسب تال لمصالح مادية.

إنَّ تفسير آليات الظواهر الطبيعية يُعتبر إذاً نوعاً من التحكم، لأنه يتضمن بناء نماذج للظواهر، وعملية اكتساب المعرفة - أي بناء النماذج - هي عملية تنتظم فيها الأوامر ويُخفَّض الاختلال قصدياً. ونعني بالقصدية في نشاطنا، أن النموذج المبني يجب أن يختلف في تأثيراته بأقل قدر ممكن عن الموضوع المدروس. فكلما قلّ الفرق كلما أصبح النموذج أفضل. على سبيل المثال، تمدنا قوانين نيوتن المعروفة بنموذج كامل الكفاية عن الحركة الآلية ذات السرعة المنخفضة، على الرغم من أنها تقترب من الحقيقة بالفعل. فالصياد الأكثر نجاحاً هو الذي يمتلك النماذج الأفضل لسلوك الحيوانات، فيكون بالتالي أكثر قدرة على توقع ما يفعله الحيوان في أي موقف.

إنَّ نظام النماذج التي صاغها الإنسان بغرض التحكم الفعال في محيطه هو الذي يكوِّن ما يعرف باسم العلم. ولسوف نلاحظ أنه في تلك المرحلة (مرحلة الذكاء) في تاريخ التحكم يكون للنشاط الإنساني طبيعة مزدوجة: فمن جانب يغير محيطه بالتحكم الفعال في الطبيعة، وفي الجانب الآخر يفسر الطبيعة بخلق النماذج اللازمة لتحقيق التغيرات المذكورة. وهاتان الوظيفتان ترتبطان ببعضهما ارتباطاً وثيقاً. فلتغيير العالم بذكاء وتكييفه تبعاً لحاجاتنا، علينا أن نعرف عواقب أي فعل محدد، ويمكنك أن تتخيل بسهولة نوع المأزق الذي يمكن أن نقع فيه، لو أننا تعقبنا مسارات الفعل ذات النتائج التي لا نستطيع أن نتنبأ بها حتى ولو بالتقريب. نحن نستطيع التنبؤ فقط على أساس النماذج، وبالتالي يكون الفعل العقلاني مستحيلاً كلياً دون نماذج يمكن تجريبها واختبارها مسبقاً، ولا يوجد هناك أي فهم عقلاني لا يأخذ في اعتباره عواقبه المحتملة. فإن أردنا أن نرسل صاروخاً إلى القمر علينا أن ننشئ نموذجاً للطيران المقترح، وأن نستطيع حساب موقع الصاروخ ووظيفة الزمن والمحددات الأخرى، وإلا فإننا ببساطة نضيع الوقت والإمكانيات في تسلية فارغة.

من المستحيل تغيير العالم تغييراً قصدياً دون خلق النماذج.

إنَّ طرق حل المشاكل المختلفة متنوعة، حيث خلق الإنسان عدداً هائلاً من الخوارزمات (خطط التحكم) لتفسير وتغيير الطبيعة، وكل منها ذو صفات موضعية ونوعية متخصصة. مثلاً، توجد هناك طرق مختلفة كثيرة لإنشاء نموذج لسلوك حيوان في فخ، أو في مكان سقاية، فلكل صياد طريقته الخاصة (تعليمات التحكم) لدراسة عادات فريسته. كذلك نستطيع استخدام معرفتنا بطرق مختلفة لنحقق أهدافنا. ففي الصيد - مرة أخرى - يكون الموقع الفعلي لإنشاء فخ معتمداً على كل من النماذج المتاحة لسلوك الحيوان، وعلى الخبرة الشخصية للصياد.

المرحلة الرابعة:

بميلاد السبرنيتية - علوم التحكم في الحيوانات والآلات - يُعتبر الزمن التالي هو الأخير: مرحلة خطط التحكم الشامل. ويمكن تطبيق خوارزمات (خطط) هذا النوع على أي موضوع بغض النظر عن واقعه الفيزيائي. فالسبرنيتية تبحث عمليات التحكم من وجهة نظر عامة، أكثر من ارتباطها بموقف

محدد. في السبرنيتية نحن معنيون فقط بالنموذج الذي لا يمثل الفيزيائي، ولكن يمثل اللب المعلوماتي للحوادث التي تأخذ مكانها داخل موضوع التحكم. فنموذج واحد يكون قادراً على وصف عمليات التحكم في مواضيع تختلف في بنائها الفيزيائي، كالمذبذب مثلاً، يمدنا بنموذج حسابي عن مثل هذه الظواهر المتنوعة كاهتزاز البندول الآلي، واختلاف التيار والجهد في دارة كهربية، وكتغيرات تحدث في عدد الحيوانات المفترسة، ورغم أنها «موضوعات» مختلفة، إلا أن عملية التحكم واحدة في كل منها.

دعنا إذاً نعالج هذا المثال بتفصيل أكثر.

«حكاية البنت الصغيرة على الأرجوحة والذئب الكبير القذر والدارة الكهربية»

ذات يوم كانت هناك طفلة صغيرة تحب اللعب على الأرجوحة، وكان هناك أيضاً ذئب كبير قذر يحب أكل الأرانب، بالإضافة إلى دارة كهربية. كانت الصغيرة والذئب الكبير من النوع الموجود في الحكايات الخيالية. الطفلة جيلة وذكية، والذئب فظ طماع. أما الدارة الكهربية فقد جاءت من كتاب إلكترونيات. كانت الدارة فخورة بجذورها، رفعت أنفها في الهواء ومشت الخيلاء. لقد عرفت أنّ ما يجري داخلها كان من طبيعة كهرومغناطيسية، لذا ظنت أن كل إنسان لا يستطيع فهمها، ولهذا نفخت صدرها بغرور وانتفشت لترى تأثير سحرها وعبقريتها.

ذات يوم التقى الثلاثة معاً. كانت الصغيرة تتأرجح، كما تفعل دائماً على أرجوحتها. عض الذئب بكسل على فكيه ليُري كم كان مزاجه معكراً من الجوع، بينما انتفخت الدارة الكهربية وتخايلت.

«ـ أوقفي هذه القلقلة وتلك الحركة». همهم الذئب الذي تربى تربية سيئة في الحقيقة ـ يجب أن يقال هذا ـ فكانت هذه أكثر الجمل التي يعرفها أدباً. «ـ إنها لا تتقلقل» قالت الدارة الكهربية بخيلاء العارف. «ـ إنها تقوم بذبذبات ميكانيكية حول نقطة اتزانها».

«ـ إنك تسئمينني أيتها الدارة!. ماذا تعنين بكلمة «ذبذبات»؟، فأي شخص يمكن أن يراها تتقلقل هنا وهناك دون أن تفعل شيئاً؟» «ـ توقفا» قاطعته البنت الصغيرة «أنتما الاثنان دائماً تتشاجران؟ الدارة على حق وأنا أحب ذبذباتي الآلية كثيراً. فقالت الدارة بانفعال «ـ كيف لإنسان أن يحب الاهتزاز الآلي؟. إنّ المجال الكهرومغنطيسي هو أفضل من أي شيء آخر في العالم كله». وبعد أن ألقت خطبتها، انسحبت إلى ذاتها بصمت. كان من المستحيل أن نعرف ما إذا كانت تعمل أو لا بمجرد النظر إليها، لأن الترددات الكهرومغنطيسية يمكن فقط رصدها بأجهزة خاصة.

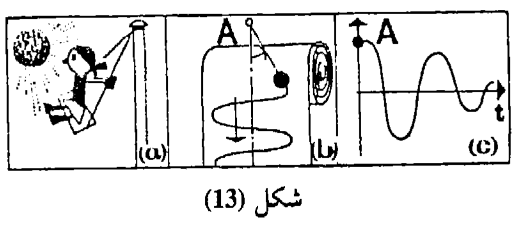
ومع هذا كان الذئب يعرف معرفة خاصة أفضل الأشياء في العالم بالنسبة له، لكنه لم يقل شيئاً. أصرّ على أسنانه عندما فكر في أرنب لذيذ. «لماذا يصبح العالم مكاناً لعيناً هكذا للعيش فيه؟!» دمدم الذئب وهو يفكر «كانت الغابة في العام الأخير ملأى بالأرانب، لكن في هذا العام أصبحت الأرانب نادرة كأسنان الدجاج. وصل الأمر لدرجة أننا أصبحنا ننحني باحترام لكل أرنب أعجف تافه، ونتقاتل مع أخواننا الذئاب من أجله».

«ـ لكن ماذا عن السنة ما قبل الأخيرة؟» سألته الطفلة، فقال «كانت سنة صعبة أيضاً». «ـ والسنة التي قبلها؟» فقال «كانت ملأى بالأرانب مرة أخرى. . انتظري» بدأ الذئب وكأن فكرة جديدة

هاجمته «سنة فارغة وسنة ملأى. أليس هكذا؟!. بلى.. ينبغي أن.. ملعونة تلك الأرانب المخاتلة بعادات غذائها غير المنتظمة!!». «ـ هذا مثال آخر للتذبذب» تدخلت الدارة الكهربية «تذبذب حجم السكان». «ـ ماذا، ماذا، ماذا؟» عوى الذئب «لا تحاولي خلط الأمور عليَّ مع ذبذباتك تلك وأعداد السكان، لا أريد أن أسمع شيئاً عنها. كل ما أريده هو أن يمتلىء هذا البطن» (كان الذئب وقحاً في الرد). «ـ على أية حال كل شيء يتذبذب معك. أنت لك ذبذباتك، والطفلة لها ذبذباتها، والآن سنسمع أن للأرانب ذبذباتها. الشيء التالي هو أن تستنتجي لي نوعاً من الذبذبات أنا أيضاً. هذا ما أفترضه» خلص الذئب متهكماً. فردت الدارة «طبعاً. يتناسب عدد الذئاب عكسياً مع عدد الأرانب، كلما كثرت الذئاب قلّت الأرانب، وبالعكس عندما يقل عدد الذئاب يزداد عدد الأرانب، والنتيجة تذبذبات».

بعد فترة صمت، دمدم الذئب «انتظري، انتظري، علينا أن نعود القهقرى ونبدأ من الطفلة مرة أخرى، فحالتها قد تكون أسهل فهماً؟».

عند هذا الحد، سنترك أصدقاء حكايتنا الخيالية لحوارهم، ونحاول أن نشرح لأنفسنا المشترك بين التأرجح، والعمليات داخل الدارة الكهربية، وعدد الذئاب في الغابة. من النظرة الأولى، يبدو أنهم بلا مشترك بينهم، لكن بالتدقيق، يمكن أن نرى أن الظواهر الثلاث تسلك سلوكاً «ترددياً».



شكل (13)

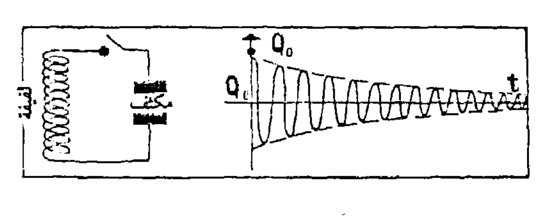
سنقنع أنفسنا الآن بأن ذلك كذلك. الأرجوحة في الحقيقة هي بندول بسيط (شكل 13-a). إن تنقل حركة البندول في أي لحظة يمكن تحديدها بشكل مناسب من الزاوية (A) بين محور البندول والخط الرأسي (شكل 13-b). سنعتبر أن الزاوية (A) إيجابية (+) عندما يكون البندول على يمين الرأسي، وسلبية (-) عندما يكون على يساره. دعنا نحرك البندول عن طريق الزاوية (A) (ستكون هذه أول النقلات)، ثم نحرره. يتحرك البندول بفعل الجاذبية الأرضية نحو موقع اتزانه، أي المحور الرأسي، يصله ثم يواصل السير بفضل السرعة المكتسبة، ثم تجذبه قوة الجاذبية الأرضية إلى الخلف نحو الموقع الرأسي مرة ثانية، بعد ذلك تدفعه السرعة المكتسبة للاهتزاز عائداً. هكذا تتواصل العملية وتكرر نفسها، وتقل قوة الحركة بعض الشيء كل مرة حتى يتوقف البندول في النهاية.

لو ثبتنا قطعة صغيرة من الأردواز على البندول المهتز، وسحبنا شريحة ورقية تحته بحيث تكون عمودية الزاوية بالنسبة لحركته (شكل 13-b)، سوف يترك الاردواز أثراً، يعاد إنتاج شكله في (13-c) على هيئة رسم تخطيطي، وهذا هو الرسم التخطيطي لـ «نموذج الترددات الموهنة» أي الترددات التي تقل تدريجياً حتى تتلاشى.

نلاحظ الآن أن هناك عنصرين ضروريين مسئولين عن ظهور الترددات: **الأول**: قوة الجاذبية

التي تجذب البندول نحو موقع توازنه طول الوقت. الثاني: قوة دفع البندول (السرعة المكتسبة) التي تميل إلى المحافظة على حركته. وتفاعل هـذين الميلين المتعارضـين هو الـذي ينتج الحـركة الـترددية (البندولية). سندعو الميل الأول: الميل نحو الاستقرار، والثاني: الميل الدينامي (الميل نحو الحركة).

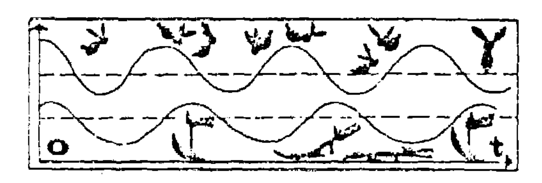
سندرس الآن الدارة الكهربية. إنها تتكون من جزأين: مُكثِّف ولفافة، مرتبطين أو متصلين في سلسلة تحتوي على فاصم الدارة الكهربية (شكل 14). للمكثف القدرة على اختزان الشحنة الكهربية. يشحن إذا تم توصيله ببطارية. تتناسب قوة الشحنة مباشرة مع جهد البطارية. افترض أن الشحنة الأولية في المكثف هي Q_0. عندما نغلق الفاصم، يبدأ المكثف مباشرة في الشحن، مرسلاً تياراً كهربياً عبر اللفافة. يبعث التيار مجالاً مغناطيسياً في اللفافة (هذا هو السبب في تمغنط قطعة حديدية إذا وضعت داخل اللفافة). يقدم المجال المغناطيسي، جهداً كهربياً في اللفافة يعارض أي تغير في التيار المار عبر اللفافة. وهذا يعني أن اللفافة تحافظ على سريان التيار عندما يصل شحن المكثف إلى الصفر، يعيد هذا التيار شحن المكثف بشحنة ذات علامة عكسية، لذا تعود الدارة إلى حالتها الأولى، باستثناء أن الزائد (+) والناقص (−) قد غيرا موقعيهما. بعد ذلك يفرغ المكثف شحنته مرة ثانية عبر اللفافة، وهكذا تستمر العملية. هكذا تتصرف الشحنة الكهربية في المكثف بطريقة تذبذبية كالبندول بالضبط. يظهر مرة ثانية أن هناك ميلين يتفاعلان لإنتاج التذبذب: ميل المكثف إلى إفراغ شحنته، فيصل بالتالي إلى حالة مستقرة، ويولِّد التوصيل في الملف مجالاً مغناطيسياً يميل إلى المحافظة على سريان التيار، فيمنع الدارة من الوصول إلى حالة التوازن «$Q = 0$». يمثل إفراغ شحنة المكثف الميل نحو الثبات، بينما يؤدي التوصيل في الملف إلى ميل دينامي في الدارة.



شكل (14)

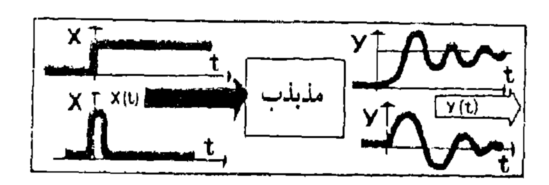
نعود الآن إلى العلاقة بين الذئاب والأرانب، أو دينـاميات التـأثير عـلى التعداد عمـوماً. في البيولوجيا، التعداد السكاني هو مجموعة محكمة الغلق من الكائنات التي تخص النوع ذاته. لهذا تستطيع التحدث عن تعداد الذئاب وتعداد الأرانب، ويتفاعل كلا الاثنين مع بعضهما لسبب بسيط هو أن الذئاب تأكل الأرانب بتلذذ عظيم. فلنتأمل موقع الغابة الآن: افترض أن عدد الأرانب والذئاب كان متوازناً. كل مرة يؤكل فيها أرنب، يولد مكانه أرنب آخر، وفي كل مرة يموت ذئب يعوضه ذئب صغير. قد لا تكون الصورة بهذه البساطة، لكنها ممكنة. افترض أن عدد الأرانب ازداد فجأة نتيجة انفجار في نظام التوالد، فستجد الذئاب كثيراً لتأكله، مما يحسن نسلها فيزداد عددها بسرعة. بتكاثر الـذئاب ستؤكل أعداد أكثر من الأرانب، وسيبدأ عددها في النقصان بالنسبة للذئاب، وستواجه الذئاب آنئذ أوقاتاً عصيبة، ستموت من الجوع والمرض وسوء التغذية، حتى ينخفض عددها بشكل واضح، مما

يتسبب في انفجار سكاني بين الأرانب. وهكذا دواليك. نرى إذاً تذبذباً واضحاً في حجم السكان حول نقطة الاتزان (شكل 15).



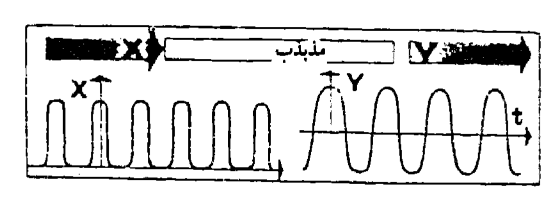
شكل (15)

هذا التذبذب مرة أخرى هو نتاج عاملين: عامل يتعلق بشهية الذئاب وإخصاب الأرانب، مما يجعل نظام الذئاب/أرانب في حالة من التوازن (الخطوط المتقطعة في شكل (15)). العامل الآخر هو التأخير (الفجوة) Lag بين حجم السكان وشروط المعيشة. فعندما يكون هناك تغيير في الشروط، فإن التعدد لا يتغير مباشرة، لكن بعد بعض الوقت فقط، ويعتمد الطول الدقيق للتأخير على معدل المواليد الذي يحافظ عليه السكان. ويشكل هذا الأخير العامل الدينامي. هكذا البندول، والدارة الكهربية، وتعداد الأرانب، كلها أنظمة تظهر سلوكاً ترددياً. ولأغراض السبرنيتية، فإن هذه النظم المختلفة يمكن أن تعالج جميعها بالطريقة نفسها بفضل مفهوم «المذبذِب»، فما هو المُذبذِب؟. نعني به أي تحول من «طاقة إدخال (X)» إلى «إخراج (Y)»، وأي تغيير في طاقة الإدخال، تنتج عنه استجابة ترددية في الإخراج. وذلك يعني أن أي تغير محسوب عند الإدخال يؤدي إلى نوع من الإخراج المبين في التخطيط الأعلى من شكل (16)، ويظهر التخطيط الأسفل في الشكل الإخراج الناتج عن نوع نابض من طاقة الإدخال (التغذية).



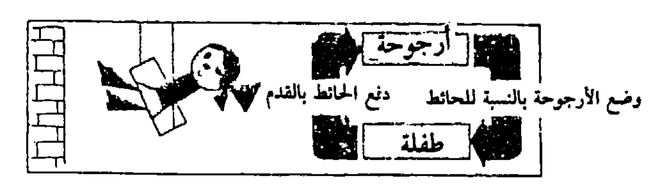
شكل (16)

من الجلي أن هذا «المُذبذِب» يتصرف بالطريقة نفسها بالضبط، والتي فصّلناها منذ قليل. يختلف عنها فقط في نقص تفاصيله الفيزيقية (الهيكلية). هنا تبقى الفكرة الأساسية فحسب: طبيعة التغير عند الإخراج (المردود) لأي تغير في طاقة الإدخال. وهذا كاف كلياً لأغراض التحكم في مثل هذا المذبذب، لأن التحكم عام أكثر منه نوعي في طبيعته. دعنا نوضح هذه النقطة مستخدمين أحد الأمثلة السابقة: تستطيع الطفلة أن تتأرجح بقوة ثابتة في حالة القيام بجهد من نوع محدد فقط ـ بالدفع بقدميها، أي دفع الحائط مثلاً. بلغة علوم التحكم، نستطيع القول إن النبضات تكون مساوية بالضبط لمدة الذبذبة. سيكون إذاً إخراج المذبذب هو الترددات النشطة الظاهرة في شكل (17).



شكل (17)

على الصغيرة أن تدفع الحائط بقدميها في وقت محدد بالضبط: أي عندما تقترب الأرجوحة من الجدار. وتصبح البنت هي مصدر النبضات الدورية، فبمجرد اقتراب الأرجوحة من الحائط، فإنها تضربه ضربة بقدمها. إذاً، لو أن المذبذب (الأرجوحة هنا) كان عليه أن ينتج ذبذبات نشطة «أي ذبذبات لا تتلاشى»، فعلينا أن نمتلك «مُنظِّماً» (الطفلة هنا) يستخدم المعلومات التي يستقبلها حول إخراج المذبذب (الأرجوحة) ليحدد متى بالضبط ستدفع الحائط بقدميها «أي أن تقوم بإحداث نبضة دافعة في الإدخال» ـ شكل (18).



شكل (18)

هذا هو النوع نفسه من التنظيم الذي نجده في المولد الكهربي: مصدر ذبذبات دورية. في المولد توجد دارة كهربية، وكما رأينا سابقاً، هي عبارة عن مذبذب يأخذ مكان الأرجوحة، ويحل محل الطفلة (منظم)، فيحول مردود أو إخراج الذبذبات إلى سلسلة من النبضات التي يعاد إدخالها عند مدخل التغذية (input).

هكذا، فإن للتحكم خاصية شمولية مستقلة عن الطبيعة الفيزيقية لموضوع التحكم. وهـذه المقاربة العامة لعمليات التحكم ممكنة لموضوعات فيزيقية مختلفة، وقد صاغها أولاً العالِم نوربرت واينر الذي يطلق عليه بحق «أبو السبرنيتية».

قبل ظهور السبرنيتية، كانت عمليات التحكم في مولد كهربي يدرسها فرع الهندسة الكهربية. كذلك كان التحكم بالنسبة لحركة بندول زمني (الساعة) يدرس بواسطة فرع الميكانيكا، وديناميات السكان في البيولوجيا. كان نوربرت واينر هو أول من أشار إلى الطبيعة العامة للتحكم، وبـين أن إحكام أو تنظيم موضوع ما (تقليل اختلاله)، يمكن تحقيقه بإجراءات معيارية، أي بتطبيق منـاهج السبرنيتية بشكل مستقل عن الخواص الفيزيقية للموضوع قيد التنظيم.

إنَّ تطور هذه الوسائل الشاملة للتحكم بدأت منذ وقت قصير فقط، وفي الوقت الحاضر فإن العملية التي يمكن دعوتها بـ«السبرتة» Cybernetization [أي إخضاع كل الموضوعات لقوانين علوم التحكم]، تأخذ مكانها في العلم، وهي عملية زيادة وتطبيق واستخدام مناهج التحكم العامة. وهي

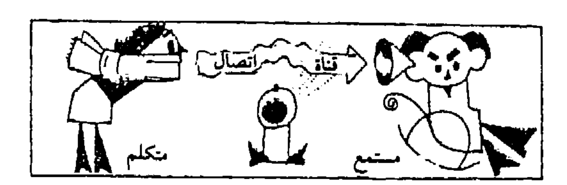
مناهج تجري بواسطة السبرنيتية، وتجد طرق تطبيقها في فروع مختلفة من العلم والتكنولوجيا بهدف اكتساب المعرفة وتحقيق التحكم. وتفتح هذه المرحلة الأخيرة في تاريخ التحكم، التطلعات المدهشة لتطور العلم والتكنولوجيا التي أسماها واينر الثورة الصناعية الثانية.

فلنعد الآن إلى تدخل المصادفة، وكفاح الإنسان ضدها مما حقق نجاحات هامة في هذا المجال، حيث وضع وطور نوعية واسعة من الوسائل لمحاربة تدخل المصادفة والتشويش، أو للتعايش بسلام مع المصادفة. وفي هذه الحالة الأخيرة، طوَّر الإنسان معالم ومعايير لكشف وسائل هذا التعايش.

- 4 -

المعركة مع تدخل المصادفة

يخوض الإنسان الحرب ضد الصدفة على جبهتين: أسلحة الجبهة الأولى الأساسية هي وسائل مختلفة لسحق المصادفة، مثل «مانع الصوت» كوسيلة دفاعية مصممة لمنع الضجيج من اختراق مسكنك. تتطلب الجبهة الثانية طرق تأمين السلامة من تدخل المصادفة. تسمح لنا هذه الطرق «الدبلوماسية» بتطوير هذه النماذج من السلوك، كما تميل إلى منع التدخل من إزعاجنا لدرجة كبيرة. المثال البسيط لذلك هو الطريقة التي نرفع بها عقيرتنا في الهاتف عندما يكون الخط رديئاً، ونكرر الكلمات والجمل مرة وأخرى. هنا يبقى التداخل في المستوى نفسه، ونطبق وسائل خاصة تجعلنا قادرين على المحافظة على الاتصال رغم وجوده. لتوضيح هذا سنقيم قناة اتصال بسيطة بين شخصين يحادثان بعضهما كما هو مبين في الشكل (19). ونظام كهذا قابل لتدخل المصادفة من ثلاثة أنواع، يعود



شكل (19)

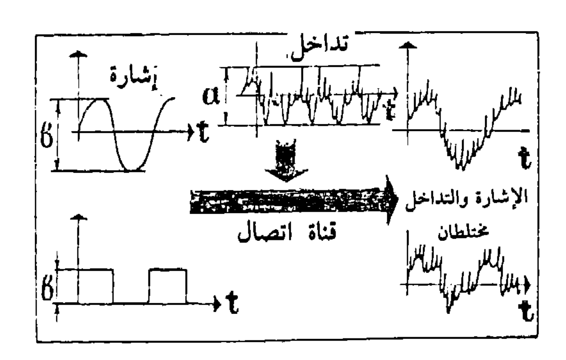
الأول إلى الناقل، ويظهر كنطق غير صحيح للكلمات، ربما كنتيجة للثغثغة Lisping، وابتلاع آخر الكلمات والتأتأة، وكل ما يأتي في الواقع تحت عنوان «أداء سيّىء». التدخل الثاني ينبع من الوسط الخارجي: خلفية ضوضاء، طقطقة ترام، حديث أناس آخرين، ضحك أو بكاء طفل.. إلخ. أما التدخل الثالث فيتعلق بفعالية المُستقبِل، (هنا السامع)، ويمكن أن ينتج عن سمع سيّىء، أو معرفة رديئة باللغة أو رؤية محدودة. من المعروف أن فهم الكلام يكون أسهل بملاحظة التعبيرات على وجه المتكلم (حالة غير طبيعية لجهاز السامع العصبي كطنين الأذن أو تسمم كحولي.. إلخ).

ولأنواع التداخل الثلاثة تلك تأثير بَيِّن في عملية الاتصال (الحديث مثلاً)، وعندما يصل التداخل إلى مستوى عالٍ، فإنه يمكن أن يمنع الاتصال كلياً. لن نشغل أنفسنا بالنوع الأول والثالث من التدخل (أو التداخل) [الناقل والمُستقبِل]، لأنهما نوعيّان جداً، ويعتمدان على الطبيعة الفيزيقية لكلٍ منهما. فلكي نتخلص من التداخل الراجع إلى التأتأة على سبيل المثال، سيكون من الأفضل

الاستعانة بمعالج للكلام (طبيب) بدلاً من اختصاصي في السبرنيتية. الأمر نفسه بالنسبة لحالات الصمم التي يجب أن تحول أساساً إلى الطبيب. ولو واجهتنا مشكلة مماثلة في إقامة اتصال عبر اللاسلكي، علينا أن نستعين بتقني لاسلكي. ولدراسة العلاقة بين الحيوانات المستأنسة يحلل التداخل طبيب بيطري.

إنَّ ما يهمنا هنا هو النوع الثاني، أي التداخل الذي يظهر في قناة الاتصال نفسها، وهو تداخل له البنية المادية (الفيزيائية) نفسها للإشارة التي تحمل الرسالة، فهي تحمل اللباس نفسه الذي تحمله الإشارة، أي أنها لن تتداخل معنا. فلو حاولنا ـ مثلاً ـ أن نقوم بحديث في القطار، فإن طقطقة العجلات وصياح الجابي (المحصِّل) هو ما يعترض طريقنا، لا اشتعال شرارة كهربية عند خطوط التيار. تنغلق هنا قناة سمعية بالتداخل السمعي، كذلك تنغلق قناة اتصال بصرية بالتداخل البصري، ولاسلكية بالتداخل اللاسلكي.

يرينا شكل (20) مثالين عن الإشارات الحاملة لمعلومات مفيدة، وهي تتفاعل مع تداخل المصادفة.



شكل (20)

كما نرى فإن التداخل يخلّ بشكل خطير بالإشارة النافعة في كل حالة. وتتميز كل قناة اتصال بمستوى محدد من الضجيج، أي باضطراب الإشارة بالتداخل. ولتحديد فعالية قناة معينة، يكون من الملائم إدخال بعض وسائل قياس مستوى الضجيج، مثل عدد ما يشير إلى درجة سوء القناة الناقلة للمعلومات نتيجة للتدخل. لهذا الغرض، يشيع استعمال نسبة **الإشارة/الضجيج** كمؤشر على مستوى الضجيج أو الضوضاء، ويتم الحصول على هذه النسبة بقسمة شدة الضجيج (a) على شدة الإشارة النافعة (b) : $(a/b = K)$، وهذه الكمية هي التي تحدد مستوى الضجيج في قناة الاتصال. ولكشف الأهمية العملية لهذه الكمية، يمكن أن نلاحظ بأنه عندما تكون $K = 1$، يكون الحوار مستحيلاً، لأن التداخل سيعوق ظهور الإشارة لحد أن السامع لا يمكنه أن يشعر بالرسالة كلياً.

نستطيع أن نرى من الصيغة السابقة أن هناك طريقتين محتملتين لتخفيض نسبة الإشارة/الضجيج : (1) بواسطة كف تأثير التداخل (a)، أي بتخفيض مستوى الضجيج، وهذا يمثل الجبهة الأولى مع التداخل؛ (2) برفع مستوى الإشارة النافعة، أي بزيادة شدة (b). وفي الحالتين

ستتحسن كفاية (كفاءة) الاتصال.

مع هذا، فإن الطريقة الثانية (زيادة قوة الإشارة النافعة) تعاكسها محدودية عملية عالية جداً. فمن البديهي أنك لن تستطيع الحوار طويلاً جداً، لو كان عليك أن تصيح طول الوقت، فصوتك لن يطاوعك في الصباح كما تريد، ودون هاتف لن تكون قادراً على إجراء اتصال هاتفي مع شخص آخر في الجانب الآخر من المدينة. باللاسلكي تكون قوة الإشارة محدودة بقوة الناقل، ولا يمكن زيادتها عن قيمة محددة. بكلمات أخرى، يمكننا أن ننسى هذه الطريقة الخاصة أيضاً.

تبقى طريقة أخرى للتغلب على مستوى عالٍ من التدخل، وذلك برفع فيض أو غزارة «redundancy» الرسالة، بواسطة تكرارها، وبسؤال الناقل بتبديل الأماكن، حيث نتوقع عدم استقبال الرسالة بشكل صحيح.. وهكذا. تشكل هذه الطرق جميعها، جبهة المعركة الثانية مع تدخل المصادفة.

دعنا ندرس الآن الأسلحة التي نستطيع أن ننشرها ككتيبة قتال في كلا الجبهتين.

(أ) الجبهة مع المصادفات الخانقة

إنَّ الوسيلة الأولى الأكثر فعالية ضد المصادفة هي التغذية الارتجاعية Feedback التي سنبدأ بها الآن.

التغذية الارتجاعية: ذكرنا ذلك المفهوم عندما تحدثنا عن «عفريت ماكسويل»، فالعفريت يمثل نظام التحكم الذي يقوم بوظيفته لتقليل اختلال موضوع التحكم (الصندوق وجزيئات الغاز) بتوزيع الجزيئات طبقاً لسرعتها. هنا تتكون التغذية الارتجاعية من ملاحظة العفريت لسلوك الجزيئات والعمل على الغالق (الضلفة)، بجعل الجزيئات في هذا الجانب أو ذاك. كما رأينا فإن هذه التغذية الارتجاعية تجعل النظام أكثر حيوية.

عموماً، تتكون التغذية الارتجاعية من تنظيم فعل محدد على موضوع التحكم. يتأسس هذا الفعل نفسه من المعلومات المستقبلة عن سلوك «الموضوع». وهي شائعة للغاية في الكائنات الحية، ويمكن أن نقول بلا تردد إن الحيوانات والنباتات تعتمد عليها في وجودها.

الآن، سنلقي نظرة على نوع من التغذية الارتجاعية التي خلقها الإنسان بهدف إدارة المعركة ضد المصادفة.

يوجِّه الإنسان نشاطه الرئيسي لتأمين الاستقلال عن نزوات الطبيعة العشوائية الجامحة، فالحياة في مثل هذه البيئة الصدفية جعلت همه الأول تثبيت محيطه المباشر في المستوى الملائم، ليؤمن «طقسه» الخاص، بغض النظر عن حالة «الطقس العام»، لذا فهو يبني المساكن ويشعل النار داخلها من أجل الدفء، وهذه تغذية ارتجاعية، لأنها رد فعل دفاعي للإنسان ضد البرد، هادفاً إلى التزود بدرجة حرارة قابلة للتساوي مع طقسه الخاص الصغير (درجة حرارة جسمه). في المساكن الحديثة، تقوم مكيفات الهواء بالمحافظة على درجة حرارة ثابتة. فكيف تعمل؟

تتأثر إقامتنا بعاملين: أحدهما هو مجموعة من العناصر مثل درجة حرارة الهواء المحيط بالمسكن،

وشدة الرياح والرطوبة، التي بدورها تؤثر في درجة الحرارة في الداخل. فلو شكلت هذه العناصر العامل الوحيد، ستتغير الحرارة الداخلية في المنزل بطريقة تغيرها خارجه نفسها، بعد أن تأخذ مدة زمنية محددة بالطبع. لكن **التغذية الارتجاعية** تحافظ على درجة الحرارة الداخلية عند مستوى ثابت، فهي تعمل عبر قياس الحرارة داخل المسكن، ومقارنتها بدرجة الحرارة المطلوبة، لينفتح مكيف الهواء أو ينغلق طبقاً لذلك. هنا تعمل التغذية الارتجاعية بواسطة «ناظم» قادر على إعطاء التعليمات إلى مكيف الهواء، بعد أن يستقبل المعلومات عن درجة حرارة المنزل، ويعمل على هذه المعلومات بمقارنتها بدرجة الحرارة المطلوبة. هنا يكمل الناظم حلقة التحكم، فيرسل توجيهاته إلى الدفاية. نتيجة لهذا تظل درجة الحرارة الداخلية عند المستوى المطلوب بغض النظر عن سلوك العوامل الصدفية الخارجية. هكذا نتغلب بالتغذية الارتجاعية على عامل المصادفة.

هناك طريق آخر لكف تأثير المصادفة هو الطريقة التراكمية Cumulative method.

القياس سبع مرات...

يكشف المثل الروسي «قس سبع مرات، وبعد ذلك اقطع» عمل الطريقة التراكمية بشكل رائع، وذلك بهدف مكافحة تدخل العشوائية. فمن المعروف أن أي عملية قياس مصحوبة بنسبة خطأ. الخطأ بالضرورة هو ظاهرة مصادفة تتدخل ضد القياس الدقيق. وكقاعدة، فإن كل وسيلة من وسائل القياس (ساعة أو ميزان الحرارة أو أي أداة) تقيس داخل مدى معين من الدقة، تحدده مهارة صناعتها. فكلما ارتفعت جودتها كلما كانت أكثر دقة. فساعة يد عادية ـ على سبيل المثال ـ يمكن أن تقيس زمناً مدته أربع وعشرون ساعة بنسبة خطأ حوالى دقيقة واحدة. كذلك يقوم مقياس الوقت Chronometer بالشيء نفسه بنسبة خطأ حوالى ثانية واحدة. أما الساعة الذرية، وهي الأكثر دقة وأغلى مقياس للوقت، فإنها تفعل هذا مع نسبة خطأ حوالى جزء من مليون من الثانية. من ذلك يمكن أن نخلص إلى أن القياس الدقيق يتطلب أجهزة غالية الثمن.

أمن المستحيل إذاً أن نحصل على قياسات دقيقة بأدوات غير دقيقة؟ وهل نستطيع أن نقوم بقياسات أكثر دقة مما تسمح به أدوات القياس الأكثر دقة؟... نعم يمكننا ذلك.

هنا نجري معركة مع الأخطاء العشوائية، بتكرار عدد كبير من القياسات، ثم نأخذ متوسطها، ويختلف هذا المتوسط عن القيمة الحقيقية بكمية أصغر من أي قياس وحيد. بكلمات أخرى: يكون متوسط قياسات متعددة أكثر دقة دائماً من قياس واحد. ويمكن أن تختبر ذلك بنفسك بتجربة بسيطة (كاتب هذا الكتاب غالباً ما قام بهذه التجربة في محاضراته بنجاح كامل). اسأل ضيوفك أن يقدروا بالعين المجردة طول شيء ما، يمكن أن يكون حجمه في متناول اليد، كقلم مثلاً. سجل كل تقديراتهم ثم خذ المتوسط. إنَّ القيمة التي ستحصل عليها ستكون ـ يا للدهشة ـ قريبة من الطول الحقيقي للقلم. فلِمَ هي كذلك؟.

المسألة أنه على الرغم من أن كل شخص يعطي رقماً تقريبياً جداً لطول القلم، إلا أن أخطاءهم يمكن أن تتساوى ـ سواء إيجاباً أو سلباً ـ فالبعض يقدر الطول كبيراً جداً، والبعض يقدره قصيراً جداً. وعند جمع الأخطاء بجمع التقديرات، تميل الأخطاء إلى أن تلغي بعضها بعضاً. لذا عندما نقسم

المجموع على عدد التقديرات للوصول إلى المتوسط، تكون النتيجة أكثر دقة من أي قياس وحيد.

يتضح أن الدقة التي نصلها في مثل هذه التجربة تتحسن بزيادة عدد مرات القياس. لهذا يُحتمل نظرياً أن نحقق أي درجة مطلوبة من الدقة بتكرار القياس عدداً كافياً من المرات. مع هذا، يصعب في الحياة العملية تحقيق درجة عالية من الدقة بالطريقة التراكمية، لأنها تتضمن قانون الجذر التربيعي: إن الدقة المكتسبة تتناسب مع الجذر التربيعي لعدد القياسات. لهذا، وبما أن أربعة قياسات تكون كافية لمضاعفة دقتنا، فإنه لتحسينها درجة واحدة مضروبة في عشرة أو عامل عشرة (قل عشر مرات)، فإننا سنحتاج إلى مئة قياس($\sqrt{100} = 10$).

إليك أيضاً هذا المثال عن الطريقة التراكمية: في بعض عمليات الهندسة الكيميائية، عند إعداد محلول بشكل دائم، يكون تركيزه متغيراً طول الوقت. وحيث إن هذه الترددات ترجع إلى عدد كبير من العوامل المعقدة، فإنها يمكن أن تعتبر عشوائية. المشكلة، كيف يتعين تحديد التركيز التقريبي للمحلول، لو أن التحليل الكيماوي الضروري يتطلب وقتاً طويلاً؟ تبدو الإجابة - للوهلة الأولى - بأخذ عينات متكررة كثيراً، وتحليلها وأخذ متوسطها في الزمن الكلي، وسنصل بهذا إلى نتيجة صحيحة، لكنها ستكون نتيجة مستهلكة للوقت جداً، حيث إن هناك طرقاً أبسط وأكثر قبولاً تتيح لنا أن نصل إلى النتيجة ذاتها عبر القيام بتحليل واحد فقط، وهي كالتالي: سنأخذ عينات ذات شكل واحد - بصرامة - من المحلول دورياً، وبدلاً من أن نرسلها عينة عينة إلى المعمل، سنجمعها سوياً في إناء واحد. أثناء الوقت المحدد يتجمع عدد معين من العينات في هذا الإناء، وفي نهاية هذه المدة، تُخلط محتويات الإناء كلياً، وتخضع للتحليل الكيميائي. ستصل بنا نتائج هذا التحليل إلى التركيز المتوسط للمحلول خلال هذه المدة. في هذا المثال، أخذنا المتوسط بخلط محتويات الإناء، فيقوم تحليل واحد دقيق بتقديم قيمة عددية لتركيز المحلول المقاس.

إذاً، يمكن معالجة عوامل المصادفة في القياس بنجاح عبر الطريقة التراكمية، وهي طريقة ذات غاية عامة تقلل - بفعالية - من تأثيرات المصادفة في النتيجة النهائية. وبتأمل هذه الطريقة، سنهتم مباشرة بطريقة أخرى تكافح تدخل المصادفة، وهي طريقة تعرف باسم طريقة التنقية (الترشيح) Filteration.

الترشيح

في الحياة اليومية، تعني التنقية فصل سائل من خليط يحتويه مع مادة غريبة غير سائلة، تكون المادة الأخيرة مساوية للتداخل. يحدث هذا بتمرير الخليط عبر مُرشِح، يأخذ شكل شاش ذي شبكة دقيقة تحجز الحالة الصلبة، أي أن الترشيح هو فصل الخليط إلى مرحلتيه التركيبيتين: السائلة والصلبة.

تشعبت مثل هذه العملية البسيطة إلى مجالات الاتصالات اللاسلكية والإذاعية، ومنها إلى الرادار (أي تغير موضوع الترشيح من عصير التفاح إلى الإشارات اللاسلكية). نحن جميعاً واعون بأن قنوات الاتصال - سواء كانت أسلاك الهاتف أو الإذاعة - هي ببساطة الغلاف الجوي الذي هو فريسة لألتقاط التداخلات الكهربية التي تدخل القناة وتتشابك مع الإشارات النافعة. وهذا التدخل طبيعي وصناعي المصدر في الوقت عينه.

يولد التداخل الطبيعي من كهرباء الغلاف الجوي: الإضاءة على وجه الخصوص. فأي إنسان يدير مفتاح الراديو أثناء عاصفة رعدية سيتعود على الخرخشة المزعجة التي يبعثها الجهاز. أما التداخل الصناعي فينتج عن الماس الكهربي المصحوب بالاستعمالات الكهربية المختلفة سواء الصناعية أو المنزلية: اللحام الكهربي، المحركات الكهربية المختلفة، القطارات، سيارات الخطوط الكهربية (الترام، الترولي، القطار.. إلخ)، كل من هذه الأدوات تنتج شحنات إضاءة صغيرة تغمر قنوات اتصالنا.

تتداخل هذه العشوائية مع الإشارات النافعة، فيتكون خليط «غير مقبول» جداً، لأن الإشارة المفيدة تختفي كلياً. ولهذا السبب بالضبط، بدأت المعركة العلمية ضد التداخل مع ظهور جهاز الإذاعة المسموعة.

ماذا نعني بالمعركة ضد التداخل؟.

لكي نفهم اتصالاً ما، علينا أن نميز الإشارة المفيدة ونُنقيها من التدخل العشوائي. ويقوم بهذا الغرض مرشح كهربي يفصل الإشارة النافعة من خليط الإشارة والتداخل. يتم إدخال (تغذية) الخليط في المرشح، ليكون الإخراج (المردود) هو الإشارة النقية. وهذه هي الفكرة الرئيسة للترشيح. لكن حتى ظهور الرادار، لم تكن الحاجة لعزل الإشارات النافعة محسوسة بالحدة نفسها، فقد كان يمكننا ـ من أجل أغراض الاتصال العادي ـ الاعتماد على «الوفرة» بتكرار بث الرسالة عدة مرات مثلاً، لزيادة كفاية قناة اتصالنا في ظروف التداخل والتشويش. لقد جعل الرادار الترشيح ذا أهمية كبرى عبر الإشارات اللاسلكية المنعكسة منه، لأن تلك الإشارات تكون دائماً أضعف بملايين المرات من النبضات التي يرسلها الناقل. وسبب هذا أن الإشارة الأصلية تنعكس في كل الاتجاهات في الوقت نفسه، وهذا يعني أن إضعاف الإشارة المنعكسة يحدث سريعاً جداً. وهذا هو السبب في أن هوائيات الاستقبال في جهاز الرادار تصنع بأكبر حجم ممكن.

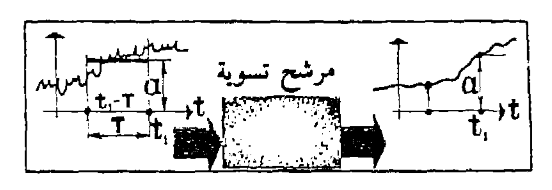
تستطيع أن تحصل على فكرة عن تأثير الإضعاف السريع من المثال البسيط التالي: في يوم مشمس، خذ كرة بليارد معدنية كبيرة أو كرة من حامل الكرات، ومرآة من الحجم ذاته، وضعهما جنباً إلى جنب (إن لم تجد مرآة مناسبة خذ واحدة أكبر وغطها بورقة سوداء تاركاً ثقباً في الورقة بحجم الكرة نفسه). تمثل الكرة هدف جهاز الرادار، وتمثل الشمس ناقلاً رادارياً، وعينك تمثل هوائي الرادار. ما زال أمامنا أن نحسب للمرآة: إنها تمثل عاكساً مثالياً، فتعكس الإشارة الكلية في اتجاه واحد دون توزيع أو انتشار (في الحقيقة ينتثر الضوء بالمرآة إلى حد ما، لكن كمية الانتثار محدودة جداً ويمكن إهمالها لغرض التجربة).

افترض أننا وضعنا الكرة والمرآة في مستوى العين. اعدل المرآة بحيث إن شعاعها المنعكس يكون أفقياً، ولهذا يكون من السهل رؤيته دائماً. ثم نخطو ببطء للخلف بعيداً عن الكرة والمرآة محافظين على الشعاع من المرآة أن يكون في مدى البصر. بعد خطوات قليلة نلاحظ أن بقعة الضوء من المرآة لا تزال لامعة تقريباً كما كانت دائماً، حيث إن انعكاس الشمس يرى بصعوبة في الكرة المعدنية، وبالخطو للخلف قليلاً، يختفي من النظر كلياً، بينما تظل المرآة تشع لامعة كما في السابق.

إن إشارة الرادار المنعكسة من طائرة تتلاشى بالطريقة نفسها بـالضبط، وكلما كانت الإشـارة المنعكسة أصغر، كلما سهل ابتلاعها أكثر عبر التداخل الذي يغمر الغلاف الجوي وجهاز الاستقبال نفسه. لكن ليست هذه هي الصعوبة الوحيدة، فعندما يكتشف العدو أنه في شعاع ناقل الرادار، فإنه سرعان ما يقوم بإجراءات احتياطية عبر محاكاة التداخل مع الهدف، بجعـل مرشـد الرادار (جهـاز مراقبته) أكثر صعوبة، نتيجة لهذا فإن الإشارة المنعكسة التي يلتقطها المستقبل تكون صغـيرة جداً، ويكون التداخل كبيراً جداً. وهنا يقوم الترشيح المناسب بجعل الرادار يعمل بفعالية. فكيف لنا أن ننقي الإشارة؟. هناك طرق عديدة للترشيح، وسنقوم الآن بدراسة بعضها.

مرشح التسوية:

إنّ هذا النوع من المرشحات، يقوم على فكرة أخذ المتوسط التي وصفناها سابقاً. سنرمز إلى المتوسط المأخوذ في وقت محدد بالرمز «T»، ويعمل هذا المرشح كالتالي: إذا تم إدخال إشارة مستمرة للمرشح، في وقت زمني محدد (t_1) يكون إخراج المرشح إشارة مساوية لقيمة متوسط الإدخال في المدة الزمنية ($T - t_1$)، ففي شكل (21) نرى تأثير مثل هذا المرشح في تسوية الإشارة الداخلة. وهذا ما



شكل (21)

ستوقعه، لأن أي عملية أخذ متوسط، تسوِّي أو تساوي البيانات الفعلية، فتتغلب بهذا على أي تدخل يأخذ شكل تموجات عشوائية. تعرف التداخلات الموجية في الهندسة الإذاعية باسم «الضجيج الأبيض» وتتكون من خليط من ذبذبات متنوعة، كالضوء الأبيض بالضبط، الذي ينتج من خلط ألوان مختلفة.

بيد أنه وعلى الرغم من أن أخذ المتوسط يجعلنا قادرين على هزيمة تدخل «الضجة البيضاء»، إلا أنه يشوش الإشارة الأصلية. يطمس هذا التشويش الإشارة على طول محور الزمن كما كانت. وكلما كانت الإشارة أقصر، كلما ساء التشويش، لأن تأثير المرشح الأساسي هو إزالة التموجات، والإشارة القصيرة شبيهة جداً بتداخل موجة واحدة، وبالتالي، عندما يفصل المرشح الإشارة المطلوبة من التدخل العشوائي، فإنه يشوش الإشارة أيضاً. وذلك القصور غائب في مرشح يدعى «مرشح الترابط» Cor-relation Filter. لكن علينا أولاً أن نشرح معنى الترابط.

الترابط

تشير كلمة «ترابط» إلى وجود علاقة متبادلة، فإذا اتحدت ظاهرتان تبادلياً بواسطة شيء ما، وإذا اتصلتا داخلياً بكيفية ما، فإننا نقول بأنهما مترابطتان. وبتحديد الترابط في حالة عينية، نستطيع أن نحمي أنفسنا من المصادفة لحد ما. ولنفصِّل المفهوم سنقدم هذا المثال: كلنا يعرف أنه عندما ندعى

للتفرج على «ألبوم» صور عائلي، نتوقع بأننا سنبهج مضيفينا بتخمين أقاربهم المقربين، وهكذا يكون من السهل جداً أن نخمن، لأن الأقارب المقربين يشبهون بعضهم الآخر عادة، أي أن وجوههم «تترابط». سنعبر عن التشابه بين وجهين بالعدد أو الرقم K، والذي يمتلك قيماً تتراوح بين الصفر والواحد. الصفر (0) يشير إلى أن الوجهين لا يتشابهان أبداً، والواحد (1) إلى أنهما متماثلان تماماً كالتوائم. أما القيم الوسطية ما بين الصفر والواحد لمُعامل التشابه، فتدل على الدرجات الوسطى المناسبة للتشابه. وحيث إن التشابه هو علاقة تبادلية، فإننا نستطيع أن نسمي (K) مُعامل الترابط Correlation coefficient.

السؤال الآن: كيف نحدد قيم هذا المُعامل؟. سنفعل هذا باستخدام طريقة التراكم التي ناقشناها سابقاً. سنأخذ ثلاث صور، واحدة لكل من الابن وأبيه وجدّه (إن أمكن أن يكون كل منها في العمر نفسه حين التقاط الصورة، لكي لا تعقد لحية الجد وشعر الحفيد المشعث المسألة). نسأل أصدقاءنا أن يقدّروا درجة التشابه بينهم، أي أن يعطوا قيماً لمعامل الترابط لكل زوج ممكن من الصور الثلاث طبقاً للسلم التالي:

متماثلان .... 1 = K
متشابهان جداً .... 0.75 = K
متشابهان .... 0.5 = K
متشابهان قليلاً ...... 0.25 = K
غير متشابهين .... 0 = K

تسجل النتائج في الجدول التالي:

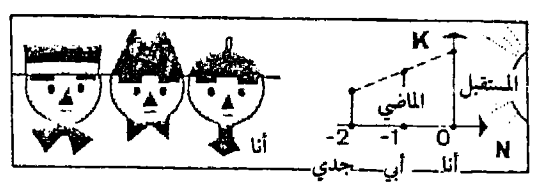
مسلسل	الابن ـ الأب	الأب ـ الجد	الحفيد ـ الجد
1	0.75	0.50	0.50
2	0.75	0.75	0.25
3	0.25	0.50	0.50
4	0.50	0.75	0.50
5	0.75	0.75	0.50
6	0.50	0.50	0.25
المتوسط	0.58	0.64	0.37

من هذه النتائج نخلُص إلى أن التشابه بين الابن والأب هو نفسه بين الأب والجد، لأن 0.58 و 0.64 قريبان جداً من التساوي. وهذا سوف نتوقعه، لأنه في كل حالة نحن نتعامل مع الرابطة بين أب وابن (فالأب بالنسبة للجد كالابن بالنسبة للأب).

علينا الآن، أن نكتشف كيف يختلف مُعامل الترابط من جيل لجيل. سنأخذ الرمز (N) كرقم للجيل، وسيكون موجباً للأجيال القادمة، وسالباً بالنسبة للأجيال السابقة. فإن كانت N = 0، فهذا

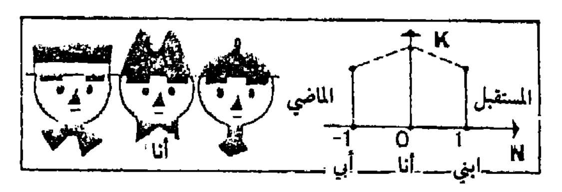
يكون جيلي. وإن كانت N = 1 فهو جيل أبنائي، وإذا كانت N = 2 فهذا جيل أحفادي، N = - 1 فذلك جيل آبائي، N = - 2 فهو جيل أجدادي.

سوف نشير إلى مُعامل الترابط بين الأجيال: N, 0 بـ K N. بكلمات أخرى فإن K N تعبر عن الدرجة التي أشابه بها الجيل (N). يتضح أن K (N) لها الخاصية التالية : K (N) = K (- N)، والتي تعني أنني أشبه الجيل (N) بالدرجة نفسها التي يشبهني بها الجيل (N). سنبدأ مناقشاتنا بدءاً بالابن. الابن هو أنا، وحيث إنني أمثل الجيل صفر، فإن N = 0، يكون مُعامل الترابط في هذه الحالة = 1 (أعلى قيمة ممكنة)، لأنني أماثل نفسي أكثر من أي شيء آخر. لأبي مُعامل ترابط يساوي 58% معي (K = 0.58). جدي له 37%. والترابط بيني وبين آبائي السابقين مبيّن في الشكل (22).



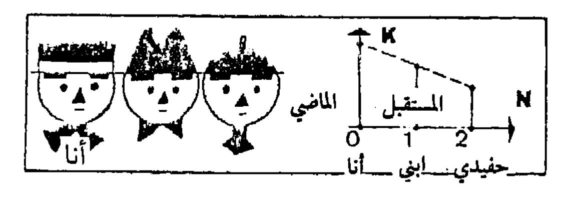
شكل (22)

سندرس الآن موقف الأب، ولأكن أنا الآن الأب. أنا أترابط مع ابني بنسبة 58% ومع أبي بنسبة 64%. علاقتي مع ابني وأبي مرسومة في الشكل (23).



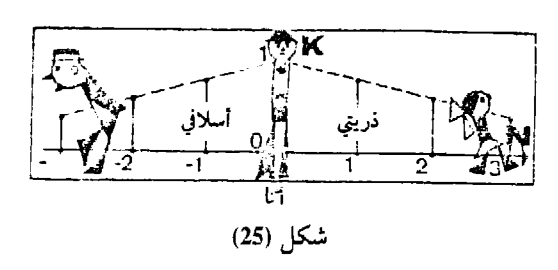
شكل (23)

افترض أنني الآن الجد، فإن شكل الترابط سيكون على الهيئة المبينة في شكل (24).



شكل (24)

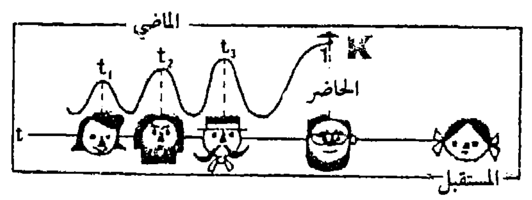
لو ألقينا نظرة فاحصة على الرسوم الثلاثة، لرأينا أنها حلقات من رسم واحد أكبر لتتابع الأجيال كما في شكل (25)، وهو شكل تخطيطي متناظر، لأنه يشير إلى أن عملية وراثة الصفات الخارجية هي نفسها لكل من الماضي والمستقبل. ففي قيمة كبيرة جداً لـ (N)، أي في المستقبل البعيد، ستكون (K) مساوية للصفر. بكلمات أخرى، لن يشبهني أحفادي البعيدون على الإطلاق، وهي نتيجة منطقية



شكل (25)

واضحة لن يعترض عليها إنسان. وفي القيم السلبية الكبيرة لـ (N)، يكون الشكل هو نفسه، ليكشف مرة أخرى الحقيقة التي لا يمكن إنكارها في أن آبائي البعيدين لم يحملوا أي تشابه ولو صغير معي.

إن العلاقة التي نراها بين مُعامل الترابط والزمن تدعى وظيفة الترابط Correlation function. ومثل هذه الوظائف شائعة جداً ومفيدة جداً، في دراسة ظاهرة عالم المصادفة الذي نعيشه، لأنها تظهر كيف أن عمليات المصادفة ترتبط بالزمن. فقد وجد ـ على سبيل المثال ـ أن طفرات الأزياء، ليست مسألة مصادفة على الإطلاق. لكن لها ترابطاً محدداً، ونستطيع أن نرسم شكل ترابط يربط الأزياء الحالية بأزياء الماضي. والرسم الذي سنحصل عليه سيكون له الشكل المميز في شكل (26)، الذي يحتوي على عدد من الذُرىٰ التي تشير إلى نقاط التماثل بين الأزياء الحالية والماضية في أزمنة t_1، t_2، t_3 من السنوات الماضية. ومصممو الأزياء واعون بهذه العلاقة. فيستخدمون مجلات الأزياء كمصدر

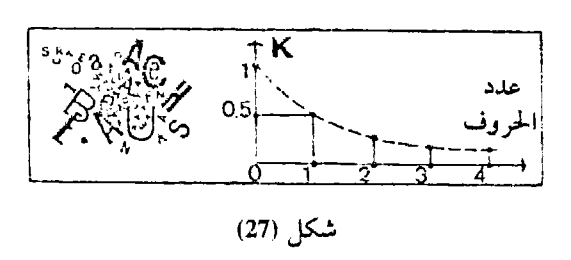


شكل (26)

للإلهام، ويعملون بمبدأ أن «الجديد» يعني «القديم الذي نُسي طويلاً»، وهذا ما ينتج تذبذبات مشابهة في الأزياء.

كم من المعلومات تحتويها كلمة واحدة؟

من الأمثلة المهمة عن طريقة الترابط، تطبيقها على تحليل الاعتماد المتبادل بين الحروف في كلمة واحدة، وبين الكلمات في جملة واحدة. وسنحاول تحديد الرابطة بين الحروف في كلمات فردية وبين الكلمات في جمل منفصلة. افترض أننا نؤدي تجربة بسيطة، بأخذ دزينة أو أكثر من الكلمات أخذاً عشوائياً، ونسأل شخصاً ليخمن كل حرف في إحدى الكلمات بالتتابع. فلو لم يكن هناك اتصال، أي اتصال، بين الحروف فإن مُعامل الترابط (نسبة التخمينات الصحيحة) سيكون قريباً من الصفر. لكن الخبرة تظهر أن نسبة التخمينات الصحيحة تكون عالية، تكون تقريباً أكثر من 50% في كل المحاولات. وهذا يعني أن حروف كلمة واحدة تظهر علاقة اعتماد متبادل، ويظهر شكل (27) أن وجود الترابط يجعل لغتنا واسعة غنية، بل ويعكس الوفرة فيها، ويجعلنا نخمن الكلمات ببساطة عالية، حتى



شكل (27)

ولو كان هناك عدد كبير من الأخطاء والأخطاء المطبعية، وتثبت الوفرة بأنها دفاع معقول ضد تدخل المصادفة. فمثلاً لو استقبلنا برقية تشمل الكلمات «حب كَثير» munch love، نستطيع أن نفهم بيسر أن المُرسِل يريد أن يعبر عن غزارة حبه لا عن طعامه(*).

لو قمنا بتجربة مماثلة لتحديد الرابطة بين الكلمات في جملة ما، ستكون النتيجة (أي احتمال ترجيح صحيح) غير مؤثرة كثيراً، وإن كانت كافية مع ذلك لأن تبين درجة من الترابط. إنَّ احتمال ترجيح صحيح لكلمة في نص روسي تصل إلى نسبة العُشر، أي حوالي كلمة واحدة من عشر يمكن تخمينها تخميناً صحيحاً.

حقاً، تختلف هذه النسبة بشكل واسع اعتماداً على طبيعة النص، فالأدبيات التقنية تتميز بمستوى عالٍ من الغزارة التي تسهِّل الفحص السريع للمادة التقنية، وتجعل الإنسان يقرأها بلغة أخرى غير مألوفة. وتميز هذه الغزارة (الوفرة) العالية من المعلومات التحويل الذي يجري بين طيار في الهواء وبين المراقبة الأرضية في المطار. ففي تلك الحالة يستخدم مستوى عالٍ من الغزارة تجنباً لحدوث عواقب مأساوية محتملة لخطأ ما. لهذا يبقى احتمال الأخطاء صغيراً جداً. أما المستوى المنخفض من الوفرة، أي ترابط أقل بين الكلمات الموجودة في الأدب الإبداعي مثلاً، فإن المجاز والتضاد وقوة التعبير واللاتوقع هي بعد كل شيء جزء من قُدرات الكاتب الخلاقة.

من المثير أن نقارن مستويات الوفرة في المادة المكتوبة أو الكلام المقروء. نميل عادة في الحوار العادي إلى الانغماس في التكرار دون الاهتمام بجمالية البناء اللغوي، ونستخدم كلمات كثيرة زائدة، هدفها أن تعطي المتكلم الوقت الكافي ليفكر ماذا سيقول في اللحظة التالية. من ناحية أخرى، يمتلك الكلام الحي احتمالات غير معروفة في اللغة المكتوبة، مثل المساعدات الإضافية للفهم كالنبرة والضغط على الحروف، وخواص الصوت الفردي، والمعلومات التي تحتويها هذه الأدوات فقط قد تصل إلى 50 - 70% من محتوى المفردات الأساسية للغة المتكلمة، ويميل ذلك إلى تقليل «وفرة» الكلمة المنطوقة. هكذا تمتلك جملة مثل «ماذا فعلت؟» معاني مختلفة ومتنوعة تعتمد على النبرة التي تنطق بها.

سنرى الآن كيف يستخدم الترابط في تصفية أو ترشيح إشارة نافعة من أرضية تداخل.

مرشح الترابط:

إنَّ الخاصية الرئيسية لمرشح الترابط هي أنه يستخدم المعلومات عن طبيعة الإشارة التي يستقبلها، بينما لا يقوم بهذا مرشح التسوية. وتحتوي التفاصيل المتعلقة بطبيعة الإشارة النافعة، كمية

(*) تعني كلمة munch «لاك، يلوك، لوك الطعام» وهو خطأ سهو في البرقية أضاف حرف n إلى much «كثير» (المترجم).

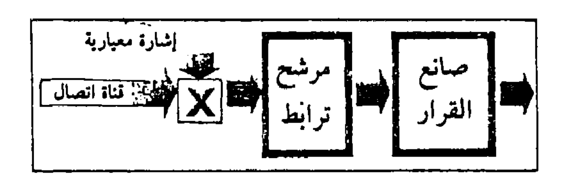
وفيرة، وغير عادية من المعلومات التي نفصل بها الإشارة النافعة بدرجة معقولة من الكفاءة.

نحن جميعاً نعرف أنه من غير المجدي دخول الغابة للبحث عن الفطر والعنب في الوقت ذاته. مع هذا، يفعلها كثير من المتحمسين، وينتهون بألا يجدوا الفطر ولا العنب. فعندما نقرر البحث عن شيء محدد له خواص محددة، تجعلنا هذه الخصائص نجد ما نبحث عنه بسرعة. لكن إذا أردنا أن نبحث عن عدة أشياء الوقت ذاته، وكلها تتميز بخصائص مختلفة، سيكون البحث غير فعّال. فمن الأفضل أن نبحث عن شيء واحد، وأن نجده، ثم نذهب للبحث عن الشيء الثاني، وهكذا..

أخبرتني زوجتي بأن بحثها عن ملبس جديد في مجلات الأزياء ينجز طبقاً للمبدأ نفسه: أي أن تتفحص المجلة بحثاً عن فستان سهرة مناسب، ثم تتفحصها مرة ثانية للبحث عن بذلة سباحة جديدة، وهكذا. لكن إذا حاولت أن تجد كل شيء تحتاجه مرة واحدة، فستنتظر فرصة خيالية ولن تجد شيئاً على الإطلاق، وستظل مع هذا تتفحص المجلة.

نعود الآن إلى مرشح الترابط. فكرة الترابط بسيطة وأنيقة. إنها تتضمن تحديد مُعامل ترابط الإشارة التي نستقبلها والإشارة التي نتوقعها، ويمكن تسمية الأخيرة «الإشارة القياسية»: المعلومات التي تختص بهذه الإشارة محمولة مسبقاً إلى المرشح. إنْ كان مُعامل الترابط عالياً، فهذا يعني أن الترابط موجود بين الإشارة المُسْتَقْبَلة والإشارة القياسية. بكلمات أخرى: هما مترابطتان والاتصال يحتوي إشارة نافعة. وإنْ كان المُعامل صغيراً، فلا توجد إشارة مفيدة. فكيف يتحدد إذاً مُعامل الترابط بين الإشارة الفعلية والإشارة المعيارية؟. كل ما يفعله مرشح الترابط هو أن يضاعفهما سوياً عدة مرات، ثم يأخذ المتوسط، ويقوم بذلك عبر تمرير ناتج الإشارتين خلال مرشح التسوية الذي يُخرج مُعامل الترابط المطلوب. وهنا علينا فقط أن نقرر إن كان المُعامل كبيراً، فنقر بوجود الإشارة المعيارية (القياسية) النافعة في النبضة المستقبَلة، وإن كان صغيراً، فهذا يعني عدم وجود إشارة مفيدة. وتقوم «أداة صنع القرار» بتلك الخطوة الأخيرة، والتي سندرس آلية عملها بعد ذلك.

يبين لنا الشكل (28) رسماً تخطيطياً عن مرشح الترابط. تضاعف المجموعة الناتجة الإشارة المستقبَلة بواسطة الإشارة المعيارية، وتخرج أداة صنع القرار الإشارة فقط حين يكون معامل الترابط كبيراً.



شكل (28)

ولكي نحصل على فكرة أفضل عن عمل مرشح الترابط، دعنا ننظر إلى الأمثلة الموضوعة في شكل (29). نرى من هذه الأمثلة أن حيلة مضاعفة الإشارات تجعلنا قادرين على هزيمة المصاعب المصحوبة بالتداخل لدرجة عالية. وهذه من مزايا استقبال الترابط.

القرار	بعد التسوية	ناتج الإشارة	إشارة معيارية	إشارة مستقبلية		
1					وجود إشارة نافعة	لا تداخل
0					لا توجد إشارة نافعة	
1					وجود إشارة نافعة	تداخل
0					لا توجد إشارة نافعة	

شكل (29)

إنَّ استقبال المعلومات الترابطي شائع جداً في الحياة العادية، ونستخدمه على نطاق واسع. حقاً، بمعرفة الإشارة من المفترض أن نستقبل ما نتوقع استقباله ويكون من المستحيل إهماله دون أن نتعرف عليه. إنَّ أهمية التنظيم الداخلي لاستقبال قطعة محددة من المعلومات معروف جيداً، فعلى سبيل المثال، لو كنا نبحث عن صديق محدد في الزحام، سنحدق في دزينة من المعارف دون أن نميزهم، لكننا سنشاهد الشخص الذي نبحث عنه بينما هو لا يزال بعيداً عنا. هذا هو جوهر استقبال الترابط الذي ينقى به التداخل للوصول إلى المعلومة المتوقعة. في هذه الحالة يشكل المعارف التداخل الذي يعقد عمل إيجاد الشخص المطلوب، لكن مرشحنا الداخلي يطردهم بعيداً.

(ب) التعايش بسلام مع تدخل المصادفة

كما رأينا من قبل، لا توجد طريقة تخلصنا كلياً من تدخل المصادفة. فنحن موجودون دائماً مع كمية محددة من التشويش والعشوائية التي يجب أن نضعها في حسباننا. وحتى بعد كل محاولاتنا لإخماد المصادفة، فإنَّ عالمنا ثلاثي الصدفة يظل صدفياً ـ ربما لأقل مدى ـ لكن يظل صدفياً طوال الوقت. لهذا من الطبيعي أن نسأل: هل سنستطيع دائماً في عالم الصدف هذا الذي لا يمكن تغييره، أن نصل إلى معلومات دقيقة أو أن نؤدي أفعالاً دقيقة؟. لنحصر السؤال: هل يمكن أن نعمل دائماً في ظروف تتضمن التداخل دون ارتكاب حتى عدد صغير جداً من الأخطاء؟ أم هل مكتوب علينا أن نعيش حياة بلا متعة، حياة مرة بسبب نسبة عالية من الحماقات؟.

قدَّم تاريخ التطور البشري إجابات على هذه الأسئلة، وهذا صحيح خصوصاً فيما يتعلق بتاريخ وسائل اتصالنا، أي الكلام والكتابة. ينبغي أن يكون واضحاً أنه في عالم خاضع للتدخل العشوائي [التدخل غير العشوائي لا يشكل مشكلة ونستطيع دائماً أن نتكيف معه وهكذا نبطله]، يضطر الإنسان في بداية تطوره إلى انتهاج وسائل فعالة في الاتصال تسمح له بالتواصل الاجتماعي دون خطأ. ولفعل هذا يستخدم وسيلة الوفرة (الفيض) التي لامسناها من قبل. فماذا نعني عندما نتحدث عن الفيض (الغزارة) في علاقته بتنظيم قناة الاتصال؟ نحن نهتم أساساً بنظام ترميز رسالة ما، لنستطيع تصحيح أي أخطاء تظهر أثناء النقل أو الاستقبال. وهناك طريقتان للتعامل مع هذه المشكلة. الأولى: أن

نضيف إلى الرسالة المنقولة إشارة تحكم خاصة، لكشف إن كانت الرسالة قد استقبلت بشكل صحيح أم لا. فلو أن هناك خطأً ما تم تحديده بفضل علامة التحكم، فإن المتلقي يمكن أن يستفسر عن النقل بسؤال الباث أن يكرر جزء الرسالة المحتوي على الخطأ. وتدعى أنظمة الاتصال التي تعمل بهذا المبدأ **«النظام الإرجاعي إلى الباثّ»** Originator Referral System، ومن أمثلة هذا النظام: جهاز الإرسال البرقي (المبرقة). يشير التلغراف العادي دائماً إلى عدد الكلمات التي يحتويها، ويعمل هذا العدد كعلامة تحكم يمكن أن تستعمل لكشف إن كانت البرقية صحيحة ولو بالتقريب. فإن كان عدد الكلمات الفعلي أقل من عدد التحكم، فمعنى ذلك أن بعض الكلمات ساقطة من البرقية. بالطبع، هذا اختبار تقريبي جداً، لأنه يفشل في تمييز برقيتين مختلفتين لهما أعداد الكلمات نفسها. ومع هذا لا يزال أداة تحديد تقريبية.

أما الحل الآخر لمشكلة تأكيد اتصال كفء فعال، فهو يعتمد على استخدام شيفرة (راموز) خاصة، لا تظهر الأخطاء كما تحدث فقط، بل وتمكننا من تصحيحها في الوقت نفسه بشكل مستقل دون إرجاع الرسالة إلى الباث، وتدعى هذه الرواميز (الشيفرات) بـ «الشيفرات المصححة ذاتياً».

إنَّ لغة الإنسان العادية تقدم مثلاً عن مثل هذه الشيفرة الرمزية، لأننا نستطيع عموماً أن نصحح أخطاء الإملاء في رسالة دون أن نعود إلى المرسل (الذي قد يكون قد أخطأ فعلاً). فنستطيع بثقة أن نعدل كلمة «Sope» لتُقرأ «Soap» (تصحح كلمة «صبون» بكلمة «صابون»). لكن لفعل هذا، يتعين أن تكون آلية تصحيحنا متوافقة مع القواعد النحوية والاستثناءات اللغوية الخاصة (استثناءات اللغة الإنجليزية مثلاً).

سندرس الآن هذين الحلين كلاً على حدة.

قناة الباث الإرجاعية:

تكمن المشكلة الأصلية هنا في اكتشاف الخطأ، لأن العمل الفعلي للإرجاع إلى الباثّ، لا يشكل في حد ذاته أي صعوبة جديدة. فكيف يمكننا أن نرمِّز رسالة لكشف أي أخطاء تحتويها؟

سندرس راموزاً ثنائياً يستخدم رمزين فقط هما: 0 ,1، وسنفترض بأن «0» تعني غياب إشارة ما في قناة الاتصال (وقفة أو فراغ)، وأن «1» تختص بوجود إشارة [يمكن أن نلاحظ في أبجدية مورس الشهيرة مثالاً نموذجياً عن الشيفرة الثلاثية التي تستخدم ثلاثة رموز: نقطة ـ شرطة ـ فراغ (وقف)]. كل شيفرة (راموز) تتكون من مجموعات، يحتوي كل منها على الأعداد ذاتها من الرموز. فراموز أبجدية ـ مثلاً ـ يتكون من مجموعات من خمسة رموز كالتالي:

أ = 00001
ب = 00010
جـ = 00011
. . . .
ل = 11000
م = 11000
ن = 11010

تخلو هذه الشيفرة من الغزارة (الوفرة) تماماً. فرسالة مثل ب م جـ أ ب، والتي هي في الشيفرة كالتالي: 00010 11001 00011 00001 00010، تفقد معناها لو كان هناك خطأ واحد في أي من الإشارات. بكلمة أخرى: لا يظهر هذا النوع من الشيفرة الأخطاء. فكيف نرفع وفرة هذه الشيفرة لتسمح لنا بتصحيح أي خطأ قد يظهر؟. أول فكرة بسيطة تراودنا هي أن نضاعف كل إشارة، أي أن ننقل كل إشارة مرتين، وبالتالي ستصبح الرسالة أعلاه هكذا:

0000001100 1111000011 0000001111 0000000011 0000001100

سيجعلنا مثل هذا الفعل قادرين بكل تأكيد على كشف الأخطاء عندما نلاحظ أن الإشارات في أي زوج محتمل كانت مختلفة. رغم ذلك، ستحتوي كل رسائلنا ضعف عدد الرموز، وهذا ثمن غالٍ جداً ندفعه من أجل كفاءة الاتصال. افترض أننا نحاول تعيين قيم عددية مؤيدة للمضاعفة وقيم عددية معاكسة للمضاعفة.

تتميز فعالية إدخال الوفرة ـ كثيراً وطبيعياً ـ بوجود الكميتين الآتيتين: (1) عدد أو نسبة الأخطاء غير المكتشفة وبالتالي غير المصححة؛ (2) النسبة المئوية للزيادة في طول الرسالة.

يتبين أن الشيفرة الجيدة هي التي تحتوي على أعداد صغيرة لكلٍ من القيمتين.

تزيد المضاعفة المباشرة طول الرسالة بنسبة 100%، فكل رسالة قد تكررت. نحدد الآن عدد الأخطاء غير المكتشفة التي مرت بالشيفرة المضاعفة. افترض أن التداخل في قناة الاتصال يعكس بشكل كامل ـ وفي المتوسط ـ إشارة منقولة ضمن مائة إشارة (يساوي قلب إشارة واحدة إدخال خطأ واحد)، يقال حينئذ إن القناة تعمل باحتمال خطأ 1%. فإذا ضوعف الخطأ، فلن يكتشف إلا إذا تغيرت إشارتا زوج ما بالتداخل [الزوج = الإشارة الأصلية + نسختها الثانية]، واحتمال تغير إحداهما سيساوي 1%، لكن أي خطأ وحيد يمكن إصلاحه بسرعة بالعودة إلى الباث: يظهر أمر الإرجاع بمجرد أن تفشل الإشارة الأصلية في التوافق مع نسختها الثانية، لكن إذا كانت كل من إشارتي الزوج المتساويتين خاطئتين، فإن الإرجاع لن يحدث وسيمر الخطأ دون أن يُلاحَظ.

يتبين أن هذا الحدث ـ خطآن متعاقبان ـ يحدث أقلّ بكثير من حدوث خطأ واحد: ـ أقل بنسبة مئة مرة في هذه الحالة. ومن ثَم، فإن المضاعفة تعني أن خطأً من مئة سيمر دون اكتشاف (في المتوسط)، بينما سيتم تصحيح الباقي. إذاً، تقلل المضاعفة في هذا المثال عدد الأخطاء غير المكتشفة بعامل 1%. هذا جميل، لكن الثمن الذي يتعين أن ندفعه هو مضاعفة طول الرسالة، وهذا معناه أنه ثمن غالٍ جداً. لهذا، وعلى الرغم من أن المضاعفة البسيطة لها استعمالاتها، إلا أنها ليست الطريقة المثلى لزيادة الوفرة. فلنبحث الآن عن طريقة أكثر اقتصاداً.

افترض أننا أضفنا رمزاً زائداً لكل مجموعة رواميز Codes كالتالي: س$_1$ لو أن مجموع الرموز الأصلية الخمسة هو عدد فردي، س$_5$ لو أن مجموعها زوجي (يعتبر الصفر عدداً زوجياً). إذاً، نحصل من شيفرتنا «راموزنا» الأصلية على التالي:

ـ للحرف أ: 1+0+0+0+0 = 1، عدد فردي، لذا فإن المجموعة الجديدة تكون أ = 000011

ـ للحرف جـ: 1+1+0+0+0 = 2، عدد زوجي، فتكون المجموعة الجديدة: جـ = 000110.

وباتباع هذه الطريقة نحصل على شيفرتنا الجديدة كالتالي:

أ = 000011

ب = 000101

جـ = 000110

. . . .   بعد إضافة الرمز الزائد

ل = 110000

م = 110011

ن = 110101

سيحتوي هذا الراموز الآن ما سندعوه «مجموع التحكم» (الرمز المضاف في طرف كل مجموعة). بهذا المجموع نرصد دقة نقل الرسالة، بملاحظة كل مجموعة عدد زوجي، ومراقبتها بمجموع التحكم.

إنَّ التدخل في قناة الاتصال أو عند المتلقي أو الباث يمكن أن يعكس الإشارة، أي أن يحول 0 إلى 1 أو 1 إلى 0. لكن زوجية الأعداد تجعلنا قادرين على تحديد الأخطاء الفردية، لأن أي خطأ فردي في مجموعة رموز سيجعل الزوجي فردياً، والفردي زوجياً. لكن إذا حدث خطآن في المجموعة نفسها، لن يكون هناك تغيير في زوجية أو فردية المجموعة، وسيعبر الخطأ دون اكتشاف، أما ثلاثة أخطاء في مجموعة واحدة فستحفز الإشارة المرتجعة إلى الباث، ويصحح الخطأ، أما أربعة أخطاء فلن تكتشف. . وهكذا.

وعليه، لا يزيل اختبار الأعداد الزوجية كل الأخطاء، وستظل نسبة من الأخطاء تمر دون اكتشافها. نريد بالطبع أن نعرف حجم تلك النسبة، أي أيّ نسبة مئوية من الأخطاء فشلنا في اكتشافها باستعمال طريقة إدخال الوفرة.

لهذا سنحدد النسبة المئوية للأخطاء غير المكتشفة التي تميز مجموع التحكم، وسنفترض ـ كما في الحالة السابقة ـ أن لقناة الاتصال احتمال خطأ 1%، أي خطأ واحد لكل مئة رمز تقريباً (لكل مئة رمز منقولة بشكل صحيح). نأخذ الآن مجموعة فردية تتكون من ستة رموز بدلاً من خمسة، الرمز الإضافي هو مجموع التحكم الذي يجب أن ينقل نقلاً صحيحاً أيضاً، ونفرض أن رمزاً واحداً في المجموعة نقل خطأً، وكل الباقي شاملاً مجموع التحكم صحيح، سيكون هناك خلل في حساب العدد الزوجي، وسيحث ذلك آلية التحكم مباشرة، تلك الآلية التي تصدر أوامرها الإرجاعية للباث، فيتم استبعاد الخطأ تبعاً لذلك. لكن إذا كان أحد الرموز الخمسة الباقية قد نقل خطأً أيضاً، فلن يكون هناك اختلاف في الرقم الزوجي، ليمر الخطأ دون أن يلاحظ. فكيف يحدث هذا غالباً؟

لو أن احتمال خطأ رمز واحد هو 1%، فإن خمسة رموز تكبره خمس مرات، وبالتالي سيرتفع عدد المناسبات المحتملة للخطأ. من هنا توجد زيادة مرتبطة بالاحتمال الكلي للخطأ، وهي في هذه الحالة 1/20. ويعني هذا أن مجموعة واحدة تحتوي خطأين تحدث لكل عشرين مجموعة تحتوي خطأً واحداً فقط في المتوسط. بكلمات أخرى: تقلل طريقة «إدخال الوفرة» عدد الأخطاء بعامل من عشرين، وبالتالي، يجعل اختبار الأعداد الزوجية الشيفرة أكثر كفاية بعشرين مرة. أي أن تأثيرات التدخل

العشوائي ستكون أقل حدة بعشرين مرة. يتضح أننا في الوقت عينه، لم نقم بأي محاولة لتخفيض مستوى التداخل في قناة الاتصال نفسها. وقد حققنا هذه النتيجة الرائعة بطريقة ترميز فعالة فقط، أي بتضمين مجموعات شيفرتنا الأعداد الزوجية. وفي العملية، ازداد طول رسائلنا بمقدار عشرين في المائة فقط (رمز إضافي واحد لكل مجموعة أصلية من خمسة رموز).

لقد أدت طرق إدخال الوفرة تلك إلى تحسن ملموس في كفاءة الرواميز، على حساب زيادة محددة في طولها. لذا يمكن أن تستعمل بفعالية لنقل الرسائل في قناة اتصال خاضعة للتدخلات العشوائية. وميزة استخدام هذا النوع من الإغناء (الوفرة) يظهر بوضوح في حالة جهاز البرق (التلغراف). مع هذا يمكن أن يستخدم أيضاً في مواقف أخرى لا تربطها أي علاقة بالمبرق من النظرة السطحية مثل الحاسوب المعاصر ذي السرعات العالية، حيث يستخدم الإغناء بالوفرة في ذلك المجال استخداماً واسعاً. وهناك عاملان حيويان يجعلان الحاجة إلى الإغناء ضرورية: (1) الإنسان العامل على الحاسوب؛ (2) عدم كفاية الحاسوب ذاته.

ولكي نفهم كيف يؤثر الإنسان الخطّاء العامل على الحاسوب في عملياته، علينا أن نعرف كيف يُغذىٰ الحاسوب الحديث بالمعلومات. فلحل أي مسألة، لا بد من إمداد الحاسوب بالمعلومات التي تخبره كيف يحسب وماذا يحسب؟. المطلب الأول يعني كتابة برنامج العمليات التي على الحاسوب تتبعها لحل المسألة، بعد ذلك يُدخَل هذا البرنامج إلى الحاسوب على هيئة شيفرة عددية مشابهة للتي فصّلناها سابقاً عن «الإغناء». فلو أردنا مثلاً أن نحل المعادلة التالية:

$$أ ص^4 + ب ص^3 + جـ ص^2 + د ص + هـ = 0$$

باستخدام حاسوب للاستعمال العام، علينا أن نملي برنامجاً يعلمه كيف يحل المعادلة، ثم علينا أن نغذي الآلة بهذا البرنامج. أما النوع الثالث من المعلومات المغذاة للحاسوب فتعلمه ماذا يحسب وتتكون من البيانات data الأولية المطلوبة للحساب. ولحل المعادلة المذكورة، ستكون البيانات هي قيم المُعامِل: أ، ب، جـ، د، هـ. ويمكن تغذية الحاسوب بكل هذه المعلومات بطرق متعددة، سواء بواسطة عامل الحاسوب نفسه، أو بواسطة شريط مخرّم أو بطاقات مثقوبة. ويعتبر العامل الذي يجلس أمام المكتب هو أقل وسائل تغذية أو إدخال المعلومات كفاية، لأنه بطيء جداً. أما الشريط المخرّم فيتكون من ورقة أو من مادة السليولويد، وهو مثقوب بخروم تحمل المعلومات المرمزة إلى الحاسوب. كل ثقب في الشريط يقابل القيمة (1) في الشيفرة الزوجية، وغياب الثقب يعني القيمة (0) صفر. يوضع الشريط في وحدة الإدخال الخاصة بالحاسوب، ويمرر بسرعة عالية بين صفوف من المصابيح والخلايا الضوئية، وعندما يمر كل ثقب بين المصباح والخلية، يسمح لنبضة من ضوء المصباح أن تصطدم بالخلية التي بدورها تسبب نبضة من تيار كهربي تصل إلى بنوك (مصارف) التخزين في الحاسوب، ويقابل هذا القيمة (1) التي تدخل الحاسوب، أما غياب النبضات فيوازي القيمة (0). وهذه طريقة فعالة جداً في تغذية الحاسوب بالمعلومات لأن الشريط يمكن تمريره بسرعة عالية خلال وحدة التغذية (الإدخال).

أخيراً، هناك البطاقات المثقوبة المصنوعة من الورق العادي، وحجمها حوالى ثلاث مرات حجم أوراق اللعب العادية، وفيها أيضاً ثقوب تحمل المعلومة المرمزة. وتحتوي رزمة من البطاقات المثقوبة كل

المعلومات المطلوبة لحسبة معينة. في الوقت الحاضر، تمثل البطاقات المثقوبة الطريقة الأكثر كفاية لتغذية الحاسوب بالمعلومات، والسبب أن وحدة الإدخال تقرأ المحتويات الكلية لكل بطاقة من أول وهلة. ويُحسِّن هذا معدل تغذية المعلومات تحسناً ملموساً بالإضافة إلى أنه يمكن تغيير أي برنامج على البطاقات المثقوبة بسهولة، بمجرد إحلال بطاقة أو اثنتين مكان البطاقة القديمة. أما الشريط المثقوب من الجانب الآخر، ويتعين أن يُقطع وأن يوصل بدقة عالية، بسبب السرعة الهائلة التي يمر بها عبر وحدة الإدخال.

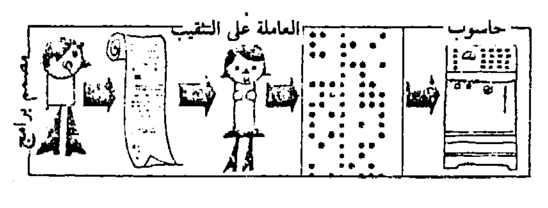
إنَّ البطاقات المثقوبة هي الرائعة دائماً، لكن. . . . . . ويا للحسرة على «لكن»!!.

قصة حزينة بنهاية سعيدة:

إنَّ شروط تثقيب البطاقات مخترقة بالعامل البشري. فغالباً ما يقوم بهذا العمل آنسات هادئات وجميلات، أنهين منذ مدة بسيطة المدرسة العليا، مهتمات بأي شيء يثير من في مثل سنهن. يجلسن أمام الثاقبات (آلات تثقب البطاقات لكنها لا تحدد موضع الثقوب)، وينظرن إلى برنامج صممه مبرمج (خطأ قاتل أيضاً!)، يضربن المفاتيح أمامهن لصنع الثقوب المطلوبة في البطاقات. وحيث إن هذا العمل هو عمل روتيني ممل، تثرثر الآنسات حول أي موضوع، ومن وقت لآخر، يرفعن من الثاقب بطاقة منتهية تحتوي المعلومات الضرورية للحاسوب وتحتوي الأخطاء أيضاً. فلو أخذنا هذه البطاقات وغذّينا بها حاسوباً ـ كما يحدث في الحقيقة ـ فإن حياة العاملة والمبرمج ستتكدر بالسحب كما يحدث عادة. فكل شيء كان يجب أن يكون منتظماً وصحيحاً: فالبرنامج فحص عدة مرات، والحاسوب في أحسن حالاته ومر بكل الاختبارات دون أخطاء. ومع هذا ما زال يرفض القيام بالحساب الصحيح.

المُلام في كل هذا؟ الفتاة الرقيقة العاملة على الثاقب، وأشياء أخرى في رأسها، ولذا تتعجل العمل على بطاقة جديدة وهي تفكر في الفيلم الأخير طول الوقت وترتكب أخطاءً جديدة.

لو اقتربنا من هذا الموقف أكثر ودرسناه سنرى بسهولة أن عاملة الثاقب تُكوِّن قناة الاتصال بين نسخة البرنامج والحاسوب (شكل 30). وهذه القناة محاصرة بنوع خاص من تدخل المصادفة، والتي

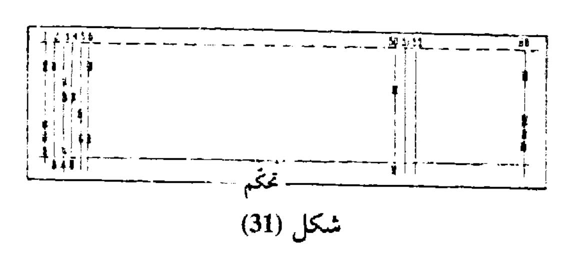


شكل (30)

يكون من الصعب جداً إخمادها. لو وبخت الفتاة، انفجرت باكية، ولو لم تعطها علاوة أظهرت رغبتها في تركك. لذا فنحن مجبرون على التأقلم مع هذه الأخطاء العشوائية في بطاقاتنا المثقوبة، ونحتاط لاكتشافها أثناء وضع البرنامج في الحاسوب. وهذه مشكلة صعبة جداً. لكن لو أن الصعوبة الوحيدة تكمن في قناة الاتصال، أي في التدخل العشوائي المستحيل تنقيته منها، فلِمَ لا نستخدم راموزاً يحتوي على اختبار الأعداد الزوجية الذي ناقشناه منذ قليل؟ خاصة وأنه سيهتم تقريباً بكل الأخطاء التي تظهر في القناة؟.

هكذا عُرف أنه يتعين إدخال اختبار الأعداد الزوجية على البطاقات نفسها، ولأخذ فكرة عن كيفية حدوث ذلك، علينا أن نعرف أولاً ماذا تكون البطاقة نفسها.

تتكون البطاقة من 88 عموداً رأسياً، يحتوي كل عمود عدداً من الثقوب التي تحمل معلومة «مُرَمَّزَة»، وتكون الشيفرة المضبوطة المستعملة عديمة الأهمية (شكل 31).



شكل (31)

يوضع الصف الذي في قاع البطاقة جانباً لغرض الحكم. يثقب ثقب في هذا الصف، لو كان مجموع الثقوب في العمود المختص رقماً فردياً، ولو كان المجموع زوجياً فلا حاجة للثقب، ويقوم المبرمج بعمل صف الحكم ويكتبه في البرنامج بنفسه.

يتضمن الثاقب وسيلة بسيطة لمراقبة زوجية الأعمدة إزاء الدليل في صف الحكم، فإذا كشفت المراجعة خطأ ما، أي لو أن مجموع الثقوب في أي عمود كان زوجياً، ويوجد ثقب في فراغ الحكم، أو بالعكس (مجموع فردي ولا يوجد ثقب)، يرن جرس ليدل على أن شخصاً ما ـ إما المبرمج أو الثاقب ـ قد قام بخطأ ما.

من السهل جداً اكتشاف المسئول عند القيام بحسبة بسيطة. ثم إعادة الثقب بهدوء، أو اعتبار المبرمج لا يعرف الفرق بين الأعداد الفردية والزوجية، ويكون الجميع سعداء!!: يكون المبرمج سعيداً لأنه لن ينهمك في مراجعة البرامج لاكتشاف أخطاء الآخرين؛ وتكون عاملة الثقب سعيدة عندما يتوقف الناس عن لعنها، وستأخذ فرصة للحديث مع المبرمج؛ وسيكون العامل على الحاسوب سعيداً، حيث لم يكن مبتهجاً بآلة تجري متوحشة باستمرار؛ وسيكون مهندس الصيانة سعيداً أيضاً، لأن الإهانات لحاسوبه ستكون أقل، فلأقل هنة من المتاعب يتجمعون ويلمحون بكل الرذائل إلى آلته الثمينة.

هل يمكننا أن نقوم بحسابات صحيحة على حاسوب يخطيء؟

سمعت ذات مرة رأياً مثيراً فيما يتعلق بهذا السؤال، فقد كان بعض الزملاء يتناقش عن الحواسيب ذات السرعة العالية وانحرافاتها الحتمية، تلك الانحرافات التي تعكر مزاج من يتعاملون مع هذه الآلة. إذا أخذنا حاسوباً ـ كمثال ـ ينحرف أو يخطيء مرة في كل ساعة عمل، فإن المشاكل التي يتحتم علينا حلها في الحياة العملية تتطلب، غالباً، عشرات ـ إن لم يكن المئات ـ من ساعات عمل الحاسوب. نتيجة لهذا، يحتوي حل أي مشكلة على خطأ ما، لهذا نصل إلى نتيجة أنه إما أن ننسى كل شيء حول هذه المعضلات الكبرى، أو أن نصنع آلات تخطيء مرة واحدة في كل مائة إلى ألف ساعة من العمل المتواصل. ومثل هذه الآلات غالية جداً وتحتاج إلى مبالغ كبيرة من المال من أجل كفاءتها.

بلا شك إن مثل هذه الآلات ضرورية، لكن هل من الصواب أن نعتقد بأن المسائل الكبرى لا يمكن أن تحل بحاسوبات تقترف الأخطاء بأكثر من مائة مرة؟. فلنرَ إن كنا نستطيع حل مسألة طويلة بآلة عديمة الكفاءة.

الطريقة العادية في مثل هذه الحالة هي تكرار الحسابات، فيبدو ـ أولاً ـ كما لو أن كل ما يجب فعله هو عمل الحساب في الحاسوب عدة مرات حتى نحصل على زوج من الحلول التي تتفق مع النتيجة الصحيحة. لكن افترض أن احتمال الوصول إلى حل صحيح هو احتمال صغير كما في المسائل المعقدة جداً، فإن الحاسوب سيستهلك وقتاً طويلاً لتكرار الحساب قبل أن يتمكن من الوصول إلى حلين متماثلين. فإذا افترضنا أن الحاسوب يخطىء مرة كل ساعة في المتوسط، وأن لدينا مسألة تتطلب خمس ساعات لحلها ـ بفرض عملية بلا أخطاء طوال هذه المدة ـ يكون احتمال الحصول على خمس ساعات من العمل المتواصل بلا أخطاء هو 1/32 (تحسب كما يلي: احتمال عدم وجود أخطاء في الساعة الأولى = 1/2، وفي الثانية 1/4، والثالثة 1/8، والرابعة 1/16، والخامسة 1/32). وهذا يعني أنه للحصول على حل صحيح واحد لمسألتنا ذات الخمس ساعات عمل من الحاسوب، ينبغي تكرار الحساب 32 مرة في المتوسط، ويكون الوقت الذي يتطلبه ذلك 32×5=160 ساعة. وبالعمل 7 ساعات يومياً، سنحتاج الحاسوب أكثر من شهر لحل مسألة تحتاج خمس ساعات عمل. أليس هذا غذاء للتفكير؟!. قد يكون الشكّاك على حق عندما يقول إن هذه المسائل لا يمكن أن تحل بآلات ترتكب الخطأ. مع هذا، لو تمعنا النظر في الرقم (160)، سيكون رقماً لا يمكن تبريره، وسيكون تبذيراً للوقت وتعبيراً عن البلادة. هل علينا إذاً أن نعيد الحساب الكلي؟. ربما كل ما نحتاجه هو أن نكرر أجزاء صغيرة منه هي الأكثر عرضة للخطأ. وهنا يكمن مفتاح المسألة كلها. سنجزِّىء الحساب إلى عدد من المراحل المتتابعة، فنبدأ بالمرحلة الأولى ونكررها حتى نصل إلى نتيجتين متماثلتين فيها. نحن متأكدون الآن بأن المرحلة الأولى قد حلت حلاً صحيحاً، لأن احتمال وقوع أخطاء متماثلة سيكون صفراً من الناحية العملية، ويمكن إهماله بأمان. ثم ننتقل إلى المرحلة الثانية من الحساب، فنكررها بالطريقة نفسها إلى أن نحصل على نتيجتين متماثلتين، ثم نتقدم إلى الثالثة.. وهكذا.

سنتبين فعالية هذا الطريقة ونحن نحل مسألة الخمس ساعات نفسها بالحاسوب نفسه الذي يرتكب الخطأ القاتل نفسه بمعدل مرة كل ساعة. فإذا جزأنا المسألة إلى خمس مراحل، بحيث تتطلب كل مرحلة ساعة للحل (ساعة عمل بلا أخطاء)، يكون احتمال الخطأ هو 1/2 (نصف) أثناء كل مرحلة، وبالتالي سنجري كل مرحلة داخل الحاسوب مرتين في المتوسط للحصول على إجابة صحيحة واحدة. وللحصول على نتيجتين صحيحتين، علينا أن نجري الحساب أربع مرات، فيكون الوقت الكلي للوصول إلى حل صحيح مؤكد هو 4×5=20 ساعة. وهو زمن يساوي الزمن الذي احتجناه للوصول إلى حل غير مؤكد للمسألة ذاتها بالطريقة الأولى. مع ذلك، فليست تلك هي الطريقة المثلى.

إنَّ الآلات ضعيفة الكفاءة، لكن يمكن أن تُستخدم لحل مسائل أكبر من هذه المسألة. المهمّ فقط هو معرفة كيفية تجزيىء الحساب إلى العدد المعقول من المراحل. هكذا يمكننا تطبيق طرق معينة لحل مسائل طويلة، والحصول على نتائج موثوقة من حاسبات غير موثوقة. وهذا مثال آخر من أمثلة التغلب على المصادفة دون إخمادها ـ فالحاسوب قد يواصل ارتكاب كثير من الأخطاء كما كان ـ وذلك

بتنظيم عمله تنظيماً خاصاً.

ويمكن تشبيه مشكلة الحصول على عمل موثوق النتائج من آلة غير موثوق بها، بمشكلة الاتصال عبر قناة ملأى بالضجيج، حيث نحتاج هنا إلى مستوى عالٍ من إغناء الرسالة المنقولة، ولن يجدي كثيراً أن نكون أكثر تصميماً في تكرار الرسالة الكلية مرة بعد مرة حتى نحصل على نسختين متماثلتين نستقبلهما من تدخل الضوضاء كما رأينا سابقاً. بل من الأفضل أن نقسم الرسالة إلى عدد من المراحل ينقل كل منها كما ينبغي للوثوق من الاستقبال الصحيح، أي حتى يتم استقبال نسختين صحيحتين لكل مجموعة أو مرحلة.

هكذا سيكون لكل رسالة عدد معقول من المجموعات، وحجم معقول لكل مجموعة يؤكد النقل الصحيح للرسالة في أقل وقت ممكن. وعلينا أن نتذكر - مع هذا - أن مثل هذا الإغناء نحتاجه فقط عندما نتعامل مع قناة اتصال موبوءة بمستوى عالٍ من التدخل.

سندرس الآن رواميز (شيفرات) التصحيح الذاتي للأخطاء، ولها ميزة أعلى من نظام الإرجاع إلى الباث الذي تربطنا به قناة أو علاقة معكوسة تسمح بإعادة سؤالنا، كنوع من نظام التغذية الارتجاعية. وهي طريقة مترفة ومكلفة، لأنها تتطلب مضاعفة كل أجهزة بثنا واستقبالنا، كما تتطلب قطعاً أو وقفاً متواصلاً خلال النقل للسؤال وللإجابة.

الرواميز الملتئمة ذاتياً

إنَّ الشيفرات الملتئمة ذاتياً، مثال نموذجي عن إغناء التعويض الذاتي، لأنها تحتوي معلومات عن كيفية استرجاع أجزاء الرسالة الخاطئة بسبب التداخل العشوائي. وكما فعلنا سابقاً، سنتعامل مع شيفرة تتكون من مجموعة منفصلة من الرموز، واضعين في اعتبارنا أننا نحتاج فقط أن ندرس خواص التعويض الذاتي لمجموعة واحدة.

افترض أن المجموعة تحتوي (هـ) من الرموز التي يمكن أن تكتب متتابعة هكذا:

س$_1$ ، س$_2$ ، .... س$_{هـ}$

وحيث إن الرمز س$_ل$ يمثل كالعادة، قيمة أو قيمتين: إما (0) أو (1). س$_ل$ = $\left\{ \begin{matrix} 0 \\ 1 \end{matrix} \right.$ ولكل قيم ل (ل = 1, 2 ، .... هـ).

يمكن أن نضيف لقناة الإرجاع إلى الباث رمزاً زائداً (ص) إلى هذه الشيفرة يوضح زوجية أو فردية المجموعة. بالنسبة لرموز المجموعة يكون لـ (ص) القيم التالية:

ص = 1 لو أن س$_1$+س$_2$+ ..... س$_{هـ}$ تساوي عدداً فردياً.
ص = 0 لو أن س$_1$+س$_2$+ ..... س$_{هـ}$ تساوي عدداً زوجياً.

هكذا تكتب المجموعة الجديدة كالتالي: س$_1$ ، س$_2$، ..... س$_{هـ}$ ، ص.

إنَّ الرمز الزوجي (ص) يضاف ببساطة إلى نهاية اليد اليسرى للمجموعة، وكما رأينا فإن هذا المقياس يجعلنا نكتشف وجود أخطاء في المجموعة طالما أن عدد الأخطاء فردي، لكن لنعرف بالضبط مكمن الخطأ في المجموعة، علينا أن نعود إلى الباثّ، وهذا معناه أن نوقف النقل وننفق الوقت

لتصحيح الخطأ. ولفعل هذا كله، لدينا أيضاً أداة إضافية لقلب العلاقة (إعادة الاتصال) ولتطوير شيفرة تسمح لنا بتصحيح الأخطاء دون العودة إلى الباث عبر قلب الاتصال، سوف نبدأ بمجموعة شيفرة أساسية ذات حجم معين، ولنقل إن هـ = 12.

$س_1$ ، $س_2$ ، $س_3$ . . . . . ، $س_{11}$ ، $س_{12}$.

بعد ذلك سنعيد ترتيب هذه المجموعة الأساسية على شكل جدول أو بأكثر دقة على هيئة صف مستطيل.

$س_1$	$س_2$	$س_3$	$س_4$
$س_5$	$س_6$	$س_7$	$س_8$
$س_9$	$س_{10}$	$س_{11}$	$س_{12}$

سنحدد الآن فردية أو زوجية كل صف وكل عمود من هذا المستطيل، ونضيف الرموز المناسبة على طول اليد اليسرى والصفوف الدنيا كالتالي:

$س_1$	$س_2$	$س_3$	$س_4$	$ص_1$
$س_5$	$س_6$	$س_7$	$س_8$	$ص_2$
$س_9$	$س_{10}$	$س_{11}$	$س_{12}$	$ص_3$
$ص_4$	$ص_5$	$ص_6$	$ص_7$	

هنا تدل $ص_1$، $ص_2$، $ص_3$ على فردية أو زوجية الصفوف، بينما تدل $ص_4$، $ص_5$، $ص_6$، $ص_7$ على فردية أو زوجية الأعمدة. بالرموز:

$$ص_1 = \begin{cases} 1 \text{ إذا كانت } س_1+س_2+س_3+س_4 \text{ رقماً فردياً.} \\ 0 \text{ إذا كانت } س_1+س_2+س_3+س_4 \text{ رقماً زوجياً.} \end{cases}$$

$$ص_2 = \begin{cases} 1 \text{ لو أن } س_5+س_6+س_7+س_8 \text{ رقم فردي.} \\ 0 \text{ لو أن } س_5+س_6+س_7+س_8 \text{ رقم زوجي.} \end{cases}$$

. . . .

. . . .

$$ص_7 = \begin{cases} 1 \text{ إذا كانت } س_4+س_8+س_{12} \text{ رقماً فردياً.} \\ 0 \text{ إذا كانت } س_4+س_8+س_{12} \text{ رقماً زوجياً.} \end{cases}$$

وبكتابة صفوف هذا الترتيب الإضافي واحداً بعد الآخر على شكل متتابع، نحصل على مجموعة جديدة بالإغناء كالتالي:

س$_{1}$ س$_{2}$ س$_{3}$ س$_{4}$ ص$_{1}$ س$_{5}$ س$_{6}$ س$_{7}$ س$_{8}$ ص$_{2}$ س$_{9}$ س$_{10}$ س$_{11}$ س$_{12}$ ص$_{3}$ ص$_{4}$ ص$_{5}$ ص$_{6}$ ص$_{7}$

على سبيل المثال إن كانت المجموعة الأصلية 1101 0010 1110 ، تجدول كالتالي:

1	1	0	1
0	0	1	0
1	1	1	0

فإذا أضفنا إليها الرموز (الفردية/الزوجية) ستكون المجموعة الجديدة بعد الإغناء كالتالي:
0001 11110 10010 11101

1	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	1	1	1	0
	0	0	0	1

فلو استعملنا الصف الأخير المدعم بالرموز السبعة ص$_{1}$، ص$_{2}$ . . . . . ص$_{7}$ كمجموعة شيفرة، نستطيع أن نصحح الأخطاء دون الرجوع إلى الباث (المُرسِل).

فإذا افترضنا وجود خطأ في المجموعة الأصلية س$_{1}$، س$_{2}$ . . س$_{12}$، فإن الرمز الخاطىء سيحطم الرابطة الزوجية في كلٍ من الصف والعمود المتعلق بالرمز المحدد، وبالتالي سيحطم خطأ واحد في المجموعة الأصلية اثنين من الحالات الزوجية، فيتحدد هكذا الرمز الخاطىء بدقة، مما يجعلنا نسترده بقيمته الصحيحة.

ما يجب علينا أن نفعله إذاً، هو أن نأخذ الرمز الواقع في تقاطع كل من الصف والعمود الذي يحتوي خلل (الفردية/الزوجية)، ونغير قيمته فقط إلى القيمة الأخرى المحتملة. [تذكر أن كل رمز يمكن أن يكون إما (0) أو (1) فقط]. وهذا كل ما هنالك.

افترض مثلاً أن المجموعة التالية استقبلت كناتج للتداخل في قناة الاتصال:

1	1	1	0	1
1	1	1	1	0
0	1	0	0	0
	1	0	1	0

شكل (32)

يكشف لنا فحصها أن حالة الزوجية قد كسرت في العمود الأول. وفي الصف الأخير من المجموعة الأصلية (القاعدية)، وهذا معناه أن الرمز س$_{9}$ في التقاطع قد استقبل خطأ ويجب أن يقلب،

أي أن يتغير من 0 إلى 1، وهكذا تصحح المجموعة.

مع هذا، فإن الأخطاء يمكن أن تحدث داخل رموز التحكم ص$_1$، ص$_2$ . . . ص$_7$، فلو حدث ذلك، تنكسر حالة تحكم واحدة، ويدل هذا على الرمز الحاكم الخاطىء مباشرة. فلو استقبلنا ـ مثلاً ـ مجموعة تشبه تلك التي تكتب على هيئة صفوف:

0	0	1	0	1
1	0	1	1	0
1	1	1	1	0
	1	1	0	1

شكل (33)

هنا انكسرت حالة التحكم في الصف الثاني فقط، وهذا يعني أن رمز الحكم ص$_2$ قد استُقبل خطأً، ويتعين تغييره بحيث تصبح ص$_2$ = 0.

في ذلك المثال درسنا الحالة الأكثر تبسيطاً التي تحتوي فيها المجموعة على خطأ واحد. ومع هذا، من الممكن تصميم رواميز يمكنها تصويب خطأين أو ثلاثة أو أكثر. وتتضمن هذه الرواميز اختبارات زوجية إضافية (على طول الأقطار مثلاً)، أو بأخذ رموز في مجموعات تمثل حركة الفارس في لعبة الشطرنج. . إلخ. وباستخدام اختبارات (الفردية/الزوجية) نستطيع تصميم شيفرات تصويب ذاتي لأي درجة من الكفاية نرجوها. بيد أنه أثناء العمل، يزداد حجم مجموعة الشيفرة ازدياداً متواصلاً، فالمثال الذي كنا نناقشه حالاً كبرت فيه المجموعة الأصلية من هـ = 12 إلى هـ = 12+7=19 بإدخال إغناء يساوي 60%، فهل هذا كثير جداً؟. . لا، فحيث إن عدد الرموز في المجموعة الأصلية قد ازداد، فإن النسبة المئوية تقل، فلمجموعة قاعدية هـ = 100 (10×10 صفاً)، نحتاج إلى عشرين رمزاً للحكم (ص). هكذا ستحتوي المجموعة المصوبة ذاتياً على (120) رمزاً، تمثل زيادة 20% فقط. وإذا كانت هـ أكبر من ذلك، ستكون النسبة المئوية أصغر.

إذاً، سيكون من الملائم أكثر ـ من زاوية اقتصاد الشيفرة ـ أن تكون المجموعات أكبر. افترض في هذه الحالة أننا لا نرمِّز حروفاً فردية والتي هي في مجموعها 26 حرفاً في الأبجدية الإنجليزية، لكن الكلمات تحتوي أعداداً أكبر بكثير، لذا سيزداد حجم كل مجموعة تبعاً لهذا.

ستمكننا الاعتبارات المذكورة من أن نؤكد ـ فعل ذلك أولاً الشهير كلود شانون ـ أنه من الممكن دائماً أن نبني راموزاً ذاتي التصويب، قادراً على تأكيد النقل الفعال شبه المثالي الذي نختاره لأي قناة اتصال تحتوي أي مستوى من الأخطاء. من الطبيعي أن يصحب أي تحسن في كفاءة الإتصال، ابطاء في معدل النقل، بسبب ازدياد حجم مجموعة الراموز «الشيفرة».

خلاصةً، يمكن أن نقول بأن الشيفرات ذاتية الالتئام (التصويب) تقدم مثالاً مضيئاً عن أنظمة الالتئام الذاتي التي تحتوي إغناء كافياً يؤكد استقرارها حتى في مواجهة تدخل عشوائي نشط. وهي وسائل شديدة الفعالية تكافح المصادفة، ليس بإخمادها، وإنما بتطويق تدخل المصادفة بخلق مسار فعل عقلاني يمكِّننا من الحصول على نتائج مناسبة، على الرغم من أي شروط غير ملائمة.

- 5 -

البدائل ، المخاطر ، القرار

«تكون أو لا تكون؟ ذلك هو السؤال». تقوم شعبية هذه الجملة على أننا جميعاً سألنا أنفسنا هذا السؤال في أكثر من مناسبة، ووصلنا - بطريقة أو بأخرى - لإجابة بعد عناء طويل وبدرجات متفاوتة من النجاح. عذّبتنا دائماً شكوك هاملت، خاصة إذا واجهنا اختياراً بين بديلين (أن نكون أو لا نكون)، فكل منهما مصحوب بعواقب مؤلمة. ونستطيع أن نتخيل وضع هاملت المضحك لو كان الشاهد ثانوياً، أو أن عمه لم يكن قاتل أبيه، فلو كانت تلك هي الحالة، لتحولت المأساة إلى مهزلة. لكن شكسبير ما كان ليسمح بذلك. حقاً لم يلح على هذا التفسير أو ذاك، لكنه أراد فقط أن يؤكد بأن أحد البديلين هدد هاملت بعواقب غير سارة.

المسألة أنه غالباً ما يكون أحد البدائل الممكنة فقط صحيحاً، بيد أن نقص المعلومات يمنع من معرفة أي منها هو الصحيح. فلو كانت المعرفة الضرورية بين أناملنا، لأصبح سؤال هاملت هزلياً، مثل أن يفكر إنسان بعمق في حل مسألة 2×2. مع هذا، كان عطشنا للمعلومات في زمن شكسبير أكثر حدة. نعم أصبحت المعلومات متوفرة لحد ما الآن - نستطيع أن نحصل على بعض النتف مثل الوقت والطقس ونتائج المباريات الرياضية وما شابهها بمجرد مهاتفة - مع هذا، فإن عدد الأسئلة قد تضخم بمعدل أكثر سرعة. بالإضافة إلى كل هذا، بل وعلى رأسه، الوجود الحتمي الذي لا مفر منه لتدخل العشوائية التي تشوش المعلومات المتاحة لنا، فتنزع كثيراً من قيمتها [في حالة هاملت يأتي التداخل والتشويش من صديقيه السابقين روز نكرانتز، جيلد نستيرن].

لو دققنا في كل ما قلناه، لاستخدمنا الطريقة اللماحة التي استخدمها هاملت وحل بها موقفاً في منتهى الصعوبة عندما نجح في كشف عمه. لكن، لا هاملت، ولا شكسبير تركا لنا وسيلة اتخاذ قرار في حالات التشويش. ففي لحظة محددة نتعلم كيف نكشف عماً مقنّعاً، بيد أنه في الحياة الفعلية، لا يتكرر الموقف ذاته إلا بصعوبة: ما هي قيمة (أو كمية) «أن تكون» لو تغيرت الظروف؟!. فيا للحسرة!! «أن تكون أو لا تكون» لم يقدم شكسبير الإجابة. الإجابة هناك في نظرية القرار الإحصائي Statistical decision (المبني على نظرية الاحتمالات).

حكاية الفارس العادل ومَعْلَم الطريق:

تعودنا في طفولتنا أن نسمع الحكايات الخيالية التقليدية التي تواجهنا بصعوبة اتخاذ القرارات

لدرجة معينة. نستطيع الآن أن نعيد تكوين أو بناء هذه المواقف دون اعتبار لإعادة إنتاج التفاصيل الكاملة. وإليك هذه القصة:

امتطى الفارس جواده القوي، وسار به حتى وصل إلى تقاطع طرق يتفرع إلى ثلاثة اتجاهات. لم يكن هناك بشر أو رجال شرطة عن قرب، ولم يجد أحداً يسأله عن الطريق، وبدلاً من إشارة طريق عادية وجد حجراً (مَعْلَم طريق) يحمل النقش التالي: «إن ذهبت يميناً سيهرب الحصان من الرعب. إن مشيت مستقيماً ستفقد رأسك. وإن ذهبت يساراً ستتيتم».

رفع الفارس الشجاع خوذته إلى الخلف لاإرادياً، وحك مؤخرة رأسه [هي جزء من التركيب التشريحي يتعامل معه الناس للبحث عن إجابات على معظم الأسئلة المحيرة ولا يجدونها غالباً]. على الفارس أن يختار بين أربعة بدائل. وباستخدام اللغة المعاصرة: أمامه أربعة مسارات للفعل مفتوحة أمامه.

المسار الأول: أن يأخذ الطريق الأول، وربما يفقد حصانه.

المسار الثاني: أن يتبع الطريق الثاني، وربما يفقد رأسه.

المسار الثالث: أن يتبع الطريق الثالث، وربما يضربه الحزن.

المسار الرابع: أن يعود من حيث أتى.

إن تطبيق أي واحد من هذه المسارات ليس أمراً سهلاً ـ كأن يهمز المهماز ويتقدم. لكن كيف يتخذ قراره الصحيح؟ وما هو القرار الصائب الذي يمكن أن ندعوه بحق قراراً صائباً؟ لو كان هناك فقط بعض الأمل من توقعات سارة مثل أن يقابل أميرة جميلة مثلاً، أو حسناء نائمة ستستيقظ، في أحد البدائل المطروحة!!. لكن هنا، لا بد وأن يواجه المتاعب في أي طريق سيتخذه. فماذا عليه أن يفعل إذاً؟!.

كان فارسنا الشجاع مسلحاً بالحسّ السليم، بالإضافة إلى الأدوات التقليدية كالجواد المطهم، والحربة والسيف، والقوس الطويل والنبال. هكذا تقدم إلى ذلك الموئل المخيف، ووجد نفسه في ورطة، وعليه وحده أن يتخلص من المأزق، أي عليه أن يأخذ الطريق الذي يؤمِّن له أقل العواقب سوءاً. الحكمة القديمة عن قبول أقل البدائل تعاسة كوَّنت أساس حدس الفارس لصنع القرار الملائم، القرار الصائب كلياً. عند هذا الحد استفاد الفارس مسبقاً لتحقيق عمل كبير: **ليبدأ**، كان عليه أن يختار قاعدة للقرار، أي أن يحدد كيفية البحث عن أفضل القرارات. وكان عليه **ثانياً** أن يصل إلى أفضل قرار، هو ذلك القرار الذي يقلل لأدنى حد ممكن عذاباته. لكن قبل أن يتقدم خطوة أبعد، عليه أن ينتهي إلى كيفية قياس المعاناة التي تصاحب أي بديل ممكن: أي ينبغي أن يحدد أي وحدات سيستخدمها لقياس المعاناة، وما كميتها في عواقب كل اختيار ممكن. لذا اعتقد الفارس ـ إذا صدَّق الكتابة على الحجر ـ أن الموقف الذي سيتخذه يمكن أن ينتهي بطريق من الطرق الأربعة:

1 ـ قد يفقد حصانه بالسير في الطريق الأول.

2 ـ قد يفقد رأسه باتخاذ الطريق الثاني.

3 ـ قد يضربه الأسىٰ والحزن باتباع الطريق الثالث.

4 ـ قد يجلب لنفسه الذل والعار بالعودة من حيث أتى.

«ماذا عليه أن يفعل إذاً؟» حدث الفارس نفسه: «هل أحسب خساراتي تبعاً لعدد الأعداء الذين لن أستطيع هزيمتهم في كل حالة؟ في المعركة سيدوس حاملي (الجواد) **أربعة** أعداء: لذا بدونه **سأفقد أربع وحدات**. سأنهي بنفسي سبعة أعداء، وبالتالي ستصل خسائري دون رأسي إلى **إحدى عشرة وحدة** (سبع لي شخصياً وأربع للفرس، فبدون قيادتي لن يستطيع سحق أحد حيث لم يصل في تدريبه لهذه المرحلة بعد)».

للحزن والأسى تأثيرات متنوعة على الناس. لقد قرر فارسنا في مثل حالته أن الحزن سيرعش يديه لدرجة أن عدد الأعداد الذين يمكن أن يهزمهم سينخفض إلى ثلاثة. هكذا تصل خسارته في الطريق الثالث إلى **ثلاث وحدات**. العودة علامة من علامات الجبن وفقدان المهابة والمنزلة بالإضافة إلى الفروسية (التي ستُفقَد أيضاً)، والتي تساوي بالنسبة له فقدان رأسه، وبالتالي فإن هذا البديل يُفقده **إحدى عشرة وحدة**.

هكذا قدَّر الفارس خسائره، مؤسساً حساباته على فرضية أن ذلك الحجر صادق الكتابة. لكن قد يكون الحجر مبالغاً. أشياء مثل هذه تحدث لا في القصص الخيالية فحسب وإنما في الحياة أيضاً (هنا يعود التدخل مرة ثانية). فلو كان الحجر مبالغاً، ستكون خسائره المتوقعة مغايرة.

مع هذا، فإن فارسنا محارب متمرس. لقد أمضى سنوات طويلة في طلب المغامرة، وتعلم أشياء كثيرة عن العالم، وهو قادر بهذا على تقييم صلاحية أي معلومة قد تصل يديه، وتشهد خبرته بأن معالم الطرق في القصص الخيالية تنزع إلى تهويل الأخطار التي سيقابلها، وتؤكد له أن الكتابات المنذرة بالخطر يجب أن تؤخذ فقط بحوالى نصف قيمتها. عليه في البداية أن يقيِّم وضعه على أساس صدق الحجر، وبعد الحسابات الملائمة يقرر أن يضع القيمة صفراً (0) لأي شيء لا يصدقه كلياً، وأن يضع القيمة واحداً (1) لأي شيء يصدقه تصديقاً مطلقاً، أما القيم البينية، فتعبر عن الدرجات المختلفة للتصديق. وهو بهذا يحصل على فرصة لتحديد درجة اليقين من أي توقع قد يظهر عند الممارسة. هكذا قرر فارسنا أن قيمة التصديق للبديل الأول (**فقدان الفرس**) هي 0.6، وللثاني (**فقدان الرأس**) هي 0.4، وللثالث (**الحزن**) 0.9، وللرابع (**الانسحاب**) 1.0 (لأنه متأكد كلياً أنه سيفقد فروسيته لو أظهر الجبن).

وصلنا الآن إلى مفهوم مهم جداً هو مفهوم **المخاطرة**، وهو مفهوم يطبق في صنع القرارات الملائمة.

تتحدد شدة المخاطرة المصاحبة لاتخاذ قرار معين بالخسارة المحتملة المرتبطة بالقرار، وبالدرجة التي يتضح فيها أن هذه الخسارة ستصبح نتيجة فعلية. فلو أن هناك فرصة صغيرة بحدوث الخسارة المذكورة حدوثاً فعلياً، فإن المخاطرة ستكون محدودة. كذلك ستصبح صغيرة لو كان احتمال الخسارة عالياً، وإن كانت الخسارة نفسها ضعيفة. هل تعجبت ذات يوم ـ مثلاً ـ من سبب مغادرة الناس البيت من الباب لا من الشباك؟. ستجد الإجابة ـ بكل بساطة ـ في مفهوم المخاطرة. فخطر انكسار عنقك عندما تقفز من الشباك أعلى كثيراً من المخاطرة إذا خرجت من الباب. يمكن أن تسقط عن السلالم طبعاً وتتكسر ساقك وأنت في الطريق إلى الباب، لكننا نعلم أن ذلك شيء تافه عند المقارنة بدق العنق، وكذلك تكون نسبة حدوثه صغيرة.

من المحتمل أن نتسلق الشباك دون أذى، لكنه أمر صعب، والإصابة التي قد يحدثها المتسلق لنفسه تكون شديدة جداً. يستطيع الإنسان ـ بالتأكيد ـ أن يرفض أي دعوة إلى العشاء عبر الوثب على شباك الجيران، لأن الخطر سيكون مرتفعاً جداً، على الرغم من الاعتقاد بنتيجة حسنة، لأن ذلك الفعل غير عملي بالطبع.

هذه هي الاعتبارات الأساسية التي تحدد اختيارنا لأفضل الطرق للوصول إلى الشارع كل مرة. ونحن نفهم كل هذا حدسياً، فنضع الحصيرة لنمسح فيها أقدامنا عند عتبة الباب بدلاً من حافة الشباك.

يتضح من الآن أن المخاطرة تساوي: ناتج الخسارة المحتملة مضروباً في احتمال حدوثها. فلو أن وحدة خسارة تحدث في نصف الحالات (يكون احتمال الخسارة 1/2)، فإن المخاطرة المصاحبة للقرار هي نصف ($1 \times 1/2 = 1/2$)، فتكون المخاطرة مساوية لمتوسط الخسارة المحتملة.

نعود الآن إلى فارسنا الشجاع. لكي نحدد المخاطرة المصاحبة لكل بديل من البدائل الأربعة، عليه أن يضرب كل خسارة في درجة اليقين الذي سيجري. يظهر شكل (34) الخسارات مع درجات

مسار الفعل	No. 1	No. 2	No.3	No.4
الخسارة طبقاً للحجر	4	11	3	11
درجة اليقين من الخسارة	0.6	0.4	0.9	1
المخاطرة	2.4	4.4	27	11

شكل (34)

اليقين المصاحبة لها (الاحتمالات)، وقيم المخاطرة لكل من المسارات الأربعة المفتوحة للفعل أمام الفارس. يتبين أن أفضل مسارات الفعل معقولية هو ذلك الذي يحمل أقل مخاطرة.

بتقليل الخطر، نؤكد أن خسارتنا في المتوسط ستكون في أقل مستوى لها بالفعل. وهذا لا يعني أن الخسارة الفعلية في مناسبة محددة، لا يمكن أن تكون أكبر من القيمة المتوسطة، كذلك يمكن أن تصبح أصغر أيضاً. لهذا سيكون من الحس السليم أن نُقيم قراراتنا على الخسارة المتوسطة المتوقعة، ونحاول أن نقللها.

نعود الآن إلى مشكلة اختيار الطريق لتحديد مسار الفعل الذي يحمل أقل مخاطرة ممكنة، والذي هو هنا المسار رقم 1: أخذ الطريق الأيمن وخطر خسارة الحصان. قد يمثل هذا القرار المعقول للفارس، لأنه يخضعه لأقل مخاطرة. ينبغي علينا ألا ننخدع بالاعتقاد بأنه سيفقد حصانه، فكل شيء يمكن أن يكون بعيداً عن الصدق. في الحقيقة تؤيد الخبرة المسبقة الحكم بحوالى 60% فقط احتمالات خسارة الحصان. وتهبه ثقته بشجاعته الحق في أن يتوقع نتيجة حسنة. هكذا اختار فارسنا المقدام أفضل المسارات الممكنة، وكما رأينا ساعدته خبرته في ذلك. خبرته التي بدونها ما كان قادراً على تقدير صدق الحجر. لكن ماذا يحدث إذا كان دون الخبرة المطلوبة؟ وماذا لو كان خارجاً لأول مرة؟ إذا كانت تلك هي حالته، فلا شيء يمكن عمله، وستعتبر الكتابة على الحجر صادقة بدرجة عدم صدقها نفسها. تمثل

حالة الفارس دون خبرة وضعية البطل المتشائم الذي يكون المسار رقم 3 (الحزن) هو أكثرها معقولية، لأنها ستمنحه أقل مخاطرة ترتبط باحترامه المتشائم للحجر وكتابته. في الحالة الأخيرة (الفارس المتفائل)، سيهتم الشيطان بالوضع فلا يحدث مكروه، وتحمل كل الاحتمالات باستثناء المسار الرابع مخاطرة تساوي صفراً (0)، ولذا تقدم ـ بالتساوي ـ توقعات جديدة، لكي يتكون السلوك الأمثل من اختيار عشوائي لأحد الاتجاهات الثلاثة، وهذا نوع من اللامبالاة التي تميز المتفائل.

كل الخطوات في طريقة الفارس في حل المشكلة بسيطة وطبيعية. وهي تكمن في قلب «نظرية القرار الإحصائي» (نظرية الاحتمالات) والتي تشكل وسيلة من وسائل التغلب على العشوائية في عالمنا.

مسار الفعل	N1	N2	N3	N4
الخسارة طبقاً للحجر	4	11	3	11
القيمة المتشائمة	1	1	1	1
المخاطرة	4	11	3	11
القيمة المتفائلة	0	0	0	1
المخاطرة	0	0	0	11

شكل (35)

سنتحول الآن من حكايتنا الخيالية، إلى موضوع مثير للكبار وهو علم الجريمة.

«هل هما الشخص نفسه؟» . . رواية مثيرة:

ارتجف المفتش مِجريه(*) من قطرة باردة كبيرة من مطر الخريف سقطت على مؤخرة عنقه. سقطت قطرة أخرى داخل جراب مسدسه، توقفت للحظة وهي تترقب، ثم تعلقت بحذر وهي تنحدر نحو الفوهة. هزها المفتش ثم أعاد المسدس إلى جيبه متنهداً. أشار إلى الرقيب أن يسير بالسيارة في حذر لمراقبة الكوخ.

«ـ أإبتلع الشيطان هذا الإنسان؟!» كان يفكر، «يتركنا هكذا معلقين في ذلك الطقس القذر، بينما يمكن أن نسترخي هادئين أمام نار متقدة مع كوب من القهوة الساخنة ومجلة نقرأها».

أعطاه الشرطي «ترموساً». اختلج مِجريه من مجرد التفكير في أن القهوة تكون حاضرة هكذا، لكنه تجرّع السائل الساخن ودمدم شاكراً.

لا نستطيع أن نعد المرات التي وضع فيها المفتش مِجريه صورتين فوتوغرافيتين على ركبتيه وبدأ يدرسهما. كانت إحداهما من ملف الشرطة، وكانت لرجل ذي بسمة واسعة واثقة بالنفس، الرجل يقترب من الشيخوخة، وله عينان وقحتان جسورتان، وفك صخري.

«ـ هذا النوع من البشر يطلق أولاً وأخيراً . .» فكر مِجريه. في الحقيقة لم يكن هذا الجزء من المعلومة ظاهراً في ملامح الرجل، لكن المفتش كان يعرفه جيداً، وكان يتابع نشاطه لسنوات خلت: هو فاشي ويعترف بذلك، وهو عضو منظمة إرهابية، عميل للعدو وله ـ كما يشيع ـ علاقات بالجستابو . . إلخ. كان واعياً جداً أن مصيره المقصلة، وربما هذا هو سبب ازدياد جسارته كلما مرت السنون.

(*) بطل روايات المؤلف البلجيكي جورج سيمنون البوليسية (المترجم).

التقطت الصورة الأخرى من طائرة شرطة مروحية كانت تطارد المجهول الذي التجأ إلى هذا الكوخ. لم تكن الصورة جيدة، فكُبِرت لدرجة كبيرة، لذا كانت حبيبات الفيلم واضحة جداً، لكن الحدود مشوشة. لا يمكن أن تخطىء نظرة الخوف المأخوذة على الوجه نصف المستدير نحو مطارديه.

على مجريه أن يقرر إن كانت الصورتان للرجل نفسه أم لا؟ لأن أي خطة تالية للفعل - بل وحياة عدد كبير من الناس - تعتمد كلياً على هذا القرار. فلو كانت الصورتان للرجل نفسه، فعليه أن يحاصر الكوخ بحذر خاص، لأنهم يمكن أن يتوقعوا أي شيء من هذا الإنسان مثل أن يقتنصهم واحداً بعد الآخر، أو أن يتوقعوا انفجار قنابل يدوية أو بندقية آلية. لقد اتجه الهارب مباشرة إلى الكوخ، لا لشيء، إلا أنه رأى أن الهروب أصبح مستحيلاً، وربما يمتلك مخزن أسلحة هناك. أما إذا كانت الصورتان لشخصين مختلفين، فإن الحالة ستمتلك لوناً آخر، سيستطيعون الوصول إلى اتفاق هادىء مع الرجل في الكوخ، وأن يقنعوه بإيقاف المقاومة أو أن يجعلوا الأمور تسوء بالنسبة له. وسيكون إطلاقه الرصاص غريباً، كما لو كان يحاول إخافتهم لا قتلهم.

إذاً، «**هل هما للشخص نفسه؟**» هذا هو السؤال الذي سأل به المفتش نفسه طوال فترة الصباح دون أن يتوصل إلى قرار، فكل شيء فيهما مختلف: الحجم، زاوية الاقتراب، الوضوح، تعبير الوجه، لا شيء يتشابه عن بعد. ومع هذا قد يكون هو الرجل نفسه.

لم يقدم أحدٌ من الخبراء الذين استدعاهم مجريه إجابة مباشرة، فالصورتان مختلفتان كلياً. لقد سمع المفتش أن هذا النوع من المشاكل قد يحله الحاسوب، وكالعادة لم يكن هناك وقت للاتصال بخبراء السبرنيتية. على أية حال، لقد أصبح هرماً جداً ليعود الآن إلى حجرة الدراسة ثانية. فكر مجريه وقال لنفسه «مع هذا يجب أن أقوم بذلك» وقرر الاتصال بمركز الكمبيوتر. وعند هذه النقطة سنودّع المحقق الشهير. ونستطيع أن نقول بأننا سنودع المطاردة وإطلاق النيران. تلك الحوادث التي كانت مجرد افتتاحية الرواية المثيرة لإثارة المشكلة بفعالية أكثر، وهي طريقة ضرورية لأي كتاب شعبي يعلن أنه سيعمم مادة غير شعبية.

سنأخذ الآن مثالاً واقعياً كلي الواقعية، فنحن نتحدث عن أمر ليس أقل جدية من قسم علم الإجرام وهو التعرف على المجرم.

غالباً ما تواجه المحقق في كل مرحلة من مراحل عمله مشكلة تحديد إن كان المشتبه فيه هو المجرم أم لا، على أساس المعلومات المتوفرة عنه.

لغرض التبسيط سوف ندرس حالة الصورتين: واحدة للمجرم وواحدة للمشتبه فيه. السؤال الذي تنبغي الإجابة عليه هو: هل الصورتان تظهران الشخص نفسه أم شخصين مختلفين؟. يجب ألا نتسرع في الإجابة على هذا السؤال، لأنه ليس سهلاً كما يبدو، لذا سنبدأ بتحليل محتويات الموقف.

على المفتش أن يتخذ قراراً وأن يختار بين بديلين: «أهو؟» أم «ليس هو؟»، أي «هل المشتبه به والمجرم هما الشخص نفسه أم شخصان مختلفان؟». بعد التحليل الدقيق للصورتين، لا بد للمحقق أن يصل إلى قرار بطريقة أو بأخرى. ومن المفضل أن يكون هذا القرار أفضل القرارات المحتملة (تبعاً لحاسة محددة). لكن ماذا تعني أفضل القرارات المحتملة؟ تخضع عملية التحقيق - مثلها مثل أي عملية

أخرى ـ لتأثير التدخل العشوائي الذي يعرقل الجهد في اختيار البديل الصحيح. هنا يظهر التداخل في عدم وضوح الصور التي سنقارنها، وفي تشوش ملامح الشخص بسبب النظم البصرية للكاميرات، والجوانب المختلفة للوجه، وتعبيرات الوجه المتنوعة. . إلخ. ومن الواضح أنه لا يمكن إزالة هذه التشويشات من الطباعة، وهي تشكل تداخلاً يجب حسابه والتعامل معه، لأنه يمكن أن يؤدي إلى أخطاء في التحقيق. وتقع هذه الأخطاء في فئتين رئيسيتين: أخطاء تتسبب في تبرئة المذنب، وسندعوها: **النوع الأول من الأخطاء**. الصورتان للشخص نفسه، لكن مستوى التداخل عالٍ جداً لدرجة يظهر فيها الوجهان للمحقق وكأنهما وجهان لشخصين مختلفين، فيخطىء في تلك الحالة ليصبح المجرم حراً.

هناك نوع آخر من الأخطاء. الصورتان لشخصين مختلفين، لكنهما متشابهتان لدرجة أن المحقق يَخْلص ـ مخطئاً ـ إلى أنهما للشخص نفسه. وفي هذه الحالة، سيعاني البريء الذي اعتبر مجرماً. وسنطلق على هذا النوع من الأخطاء **النوع الثاني من الأخطاء**.

كلا النوعين من الأخطاء غير مرغوب فيه، لأنهما يعنيان أشخاصاً، والمحاكم القانونية، والمجتمع نفسه، وخسارة محددة. ففي الحالة الأولى (براءة المذنب)، تتكون الخسارة من جريمة بلا عقاب، ويبقى المجرم حراً لارتكاب جرائم جديدة. وفي الحالة الثانية (معاقبة البريء)، سيكون المجرم كذلك حراً، لكن الأسوأ هو عذاب إنسان بريء. وهذا النوع من الأخطاء أكثر خطورة لأنه يشمل المجتمع بخسائر فادحة (ينسجم هذا مع المقولة الإنسانية التي تقول إنه من الأفضل تحرير مذنب من إدانة بريء).

المحقق واع جيداً بهذه الحقائق، فيحاول أن يصنع قراره بحيث يحمي المجتمع من الخسائر في أقل مدى ممكن إذا ثبت خطؤه في اتخاذ القرار.

افترض أننا سنعين القيمة A لخسائر تبرئة المذنب، والقيمة B لخسائر إدانة البريء. يتبين إذاً أن النوع الأول من الأخطاء يتسبب في خسائر من القيمة A، والنوع الثاني في خسائر من النوع (A+B).

من الصعب أن نحدد بأي الوحدات يمكن قياس هذه الخسائر، ومع هذا لا يشير التحليل الدقيق إلى أن لذلك عواقب محددة، ويكفي فقط أن نحدد عدد المرات التي يزيد فيها نوع من الخسائر عن النوع الآخر أي إيجاد النسبة $1=B+A / A$. في الحالة الأبسط يكفي أن نقول $B=A$ عندما ($2 = Q$)، أي أن نحسب الخسائر الكلية المصاحبة لاتهام بريء والتي تساوي مرتين أكبر من خسائر تبرئة مذنب، فتكون القيم المطلقة لكل من B, A دون أهمية بعد ذلك.

افترض أن المحقق سيستخدم قانوناً محدداً (خطة حل محددة algorithm) لمقارنة الصورتين خوارزم يجعله يحسب درجة عدم تطابق الوجهين. وبفرض أننا عيَّنا هذه الكمية بالرقم Q، فكلما كانت Q أكبر، كلما اختلف الوجهان أكثر. وبالعكس، كلما صغرت كمية Q كلما تشابها أكثر. إذا لم يكن هناك تداخل، فإنه يمكن حل المسألة بسهولة: لو أن $Q = 0$ سيكون «الشخص نفسه»، و «ليس هو» إذا كانت $Q > 0$. لكن التداخل يعقِّد الصورة الكلية، فقد يقود إلى النتيجة: Q = صفراً (0)، حينما يكون الوجهان في الحقيقة مختلفين، والعكس بالعكس. إذاً كيف سيتخذ المحقق قراره؟

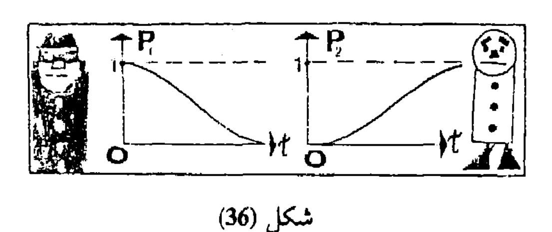
عليه أنه يخترع **«قاعدة قرار»**، وهذه القاعدة تأخذ شكلاً بسيطاً جداً: لو أن **مُعامل عدم التطابق**

Q كان أكبر من رقم محدد «t» فستظهر الصورتان شخصاً واحداً. لكن كيف يمكن تحديد قيمة الرقم «t»؟. التحديد مهم، لأن نجاح التحقيق يعتمد على هذا العدد «t» بطرق عديدة. افترض أن t صغير أو يساوي صفراً (0) من الناحية الفعلية. لذا تبعاً لقاعدة قرارنا، لن ندين بريئاً، لكن لو أن المشتبه فيه هو المجرم، فإننا سنتركه حراً بكل تأكيد، وهكذا سنرتكب خطأً من النوع الأول، لذا إذا كانت t صغيرة جداً، فإننا سنحرر البريء، وغالباً سنفرج عن المذنب.

افترض أن قيمة t كبيرة، فإن المذنب لن يهرب من العقاب بفرض أنه مشتبه فيه، لكن لو أن المشتبه فيه بريء، ستجبرنا قاعدة قرارنا أن ندينه، وسيبقى المجرم حراً، وستظل الخسائر أكبر (B+A).

يتبين مما سبق أن قيمة t يجب أن تكون قيمة وسطية لو أردنا أن نقلل الخسائر الناتجة عن اتخاذ قرار خاطىء. فكيف نحدد تلك القيمة؟ مرة أخرى ستساعدنا نظرية القرار الإحصائي: سنبني وظيفة مخاطرة risk function، تأخذ الشكل البسيط التالي: $R = AP_1 + P_2 (A+B)$. حيث إن B, A ـ كما في السابق ـ هما الخسائر في حالة تبرئة المذنب وإدانة البريء على التوالي. P_1 = احتمال تبرئة المذنب، أي درجة اليقين من وقوع خطأ النوع الأول. P_2 = احتمال إدانة البريء، أي درجة اليقين من وقوع خطأ النوع الثاني.

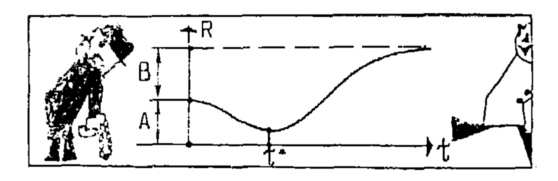
هكذا ستقدم وظيفة المخاطرة مقياساً للخسائر المتوسطة التي يمكن أن تنتج عن اتخاذ قرار خاطىء. وتعتمد قيم الاحتمالات P_2, P_1 على قيمة t كما في الشكل (36). يتضح أنه لكي تكون



شكل (36)

t=0، فإن النوع الأول من الأخطاء سيحدث بكل تأكيد (P_1=1)، ولأن المذنب سيبرأ، كما لو أن t كبيرة جداً، فإن النوع الثاني من الأخطاء لا بد سيرتكب، لأن إنساناً بريئاً سيُدان (P_2=1).

لو أننا جعلنا ـ في صيغة المخاطرة ـ الرمزين P_2, P_1 على هيئة t، سنحصل على نتيجة تبين كيف تختلف المخاطرة مع t كما هو مرسوم في الشكل (37).



شكل (37)

يظهر الشكل أن للمخاطرة حداً أدنى معيناً عند t^*، وهو لهذا القيمة المعقولة لـ t، وبالتالي سنعقلن التحقيق لو جعلنا $t^* = t$، حيث سيكون الخطر المصاحب للتحقيق في أدنى حالاته. ولو قام المحقق بهذا، فإنه يكون متأكداً أن الخسائر الناتجة عن حدوث خطأ ستكون في أقل احتمالاتها في المتوسط. علينا أن نلاحظ هنا أن القيمة المطلقة للمخاطرة لا تهمنا هنا. الشيء المهم هو أن تبقى في أدنى درجاتها. والقيمة الدقيقة لهذا الحد الأدنى قابلة للإهمال كما في t^* كما رأينا. وذلك يبسّط المسألة كثيراً، لأنه يحررنا من ضرورة تحديد قيم دقيقة للكميات B, A، والتي - يا للحسرة!! - حتى الوقت الحاضر لا نستطيع حسابها، بل ولا نستطيع أن نقدم عنها أي حسابات معقولة.

فعلى سبيل المثال، افترض أن B=A، أي أن الخسائر ستكون واحدة، وبالتالي ستصبح صيغة المخاطرة: $A = R\ (2P_2+P_1)$. والتي تبين أن موقع الخطر الأدنى مستقل عن (A) [قيمة A ستحدد شدة المخاطرة، لكنها لا تحدد موقع أدنى مخاطرة].

لهذا فإن تقليل المخاطرة للحد الأدنى بالاختيار الملائم للمقياس t، يجعل المحقق يتغلب على تأثير تدخل المصادفة الكامن في عملية التعرف على المجرم.

سننتقل الآن إلى معالجة موضوع مألوف لنا هو: آلات المشروبات الغازية واللايقين الذي يحيط بعملها.

الحقيقة حول آلات المشروبات الغازية:

إن أكثر الأمثلة بساطة عن الآلات الميكانيكية التي تصنع القرارات هي الآلة التي تبيع المشروبات الغازية مثل الليمون وما شابهه. فعندما توضع قطعة معدنية في الفتحة الضيقة للآلة، فإنها تقرر إن كانت قطعة النقد مناسبة أم لا (أن تكون أو لا تكون). وهناك مساران للفعل مفتوحان أمامها: المسار رقم (1): «أن تكون»، أن تقبل القطعة باعتبارها ملائمة وتقدم لصاحبها مشروباً؛ المسار رقم (2): «لا تكون» أي ترفض القطعة باعتبارها غير ملائمة وتعيدها إلى صاحبها.

ولكي تقوم بهذا القرار، عليها أن تؤدي تجربة تحدد فيها ملاءمة القطعة المعدنية. فإذا افترضنا أن التجربة تتكون من قياس قطر القطعة، فإن الآلة تمتلك مقياساً ذا حدين لأداء الغرض: حد أعلى وحد أدنى. تمر القطعة بحرية في الأول، ولا تمر في الأخير، وفي هذه الحالة، ستُقبل القطعة باعتبارها ملائمة. بينما يختبر مقياس الحد الأعلى إن كانت القطعة أكبر من المعدل النوعي المطلوب، فلو كانت كذلك، لن تمر ببساطة في الآلة، وترفضها باعتبارها غير ملائمة ولن تخدم المستهلك. مقياس الحد الأدنى سيخرج القطعة التي تصله بطريقتين: الأولى ستُحتَضَن فيها القطعة الأكبر من المقياس حيث يوقفها ويعترف بها كافية، أما الثانية ستُحتضن القطعة الأصغر من المقياس، فتمر عبره إلى صاحبها باعتبارها غير كافية.

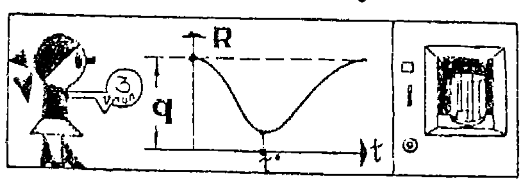
على مصمم الآلة أن يقرر أبعاد هذه المقاييس، وهو سهل جداً بالنسبة للمقياس الأكبر الذي يجب أن يكون مساوياً للقطر (ط) لقطعة معدنية حديثة. فلماذا هي قطعة حديثة؟ لأنه ليس هناك قطعة معدنية تكبر مع الأيام، ولهذا فإن كل القطع الجيدة ستمتلك قطراً لن يكون أكبر من القطر الأصلي للقطعة الجديدة. من الصعب جداً أن نبني معالم المقياس الأصغر، فإن كان قريباً جداً من المقياس

الأكبر، فإن القطع القديمة المتآكلة ـ التي تعتبر مناسبة ـ سترفضها الآلة باعتبارها غير كافية. ولو كان المقياس صغيراً جداً ـ من ناحية أخرى ـ ستقبل الآلة النقد المزور والبدائل غير الحقيقية الأخرى، وفي الحالتين ستعاني الآلة من الخسارات: في **الأولى** فقدان الرعاية والمكانة. **وفي الثانية** خسارة مباشرة للدخل لأن المشروبات تُشرب دون ثمن، وبتعبير أدق تدفع لها نقود مزورة وحلقات معدنية. . إلخ.

يتضح أن هناك بعداً معقولاً ـ وبمعنى ما ـ البعد الأفضل الذي يتعين أن يُستخدم لمقياس الحد الأدنى. ويقلل هذا البعد الخسائر المتوسطة الراجعة إلى أخطاء النوع الأول. والنوع الثاني: عليه أن يقلل المخاطرة لأدنى حدٍ ممكن. وفي هذه الحالة يتكون نوع الأخطاء الأول من رفض قطعة معدنية جيدة: قطعة متآكلة رفضتها الآلة على الرغم من كفايتها من ناحية القيمة (**قارن هذا بإدانة بريء**). يحدث النوع الثاني من الخطأ عندما تقبل الآلة قطعة نقدية سيئة أو قطعة معدنية غير نقدية (**قارن هذا بتبرئة المذنب**).

فلتكن (ط) هي القطر العياري لقطعة معدنية نقدية ذات فئة مناسبة. و(ط ـ t) هي مقياس الحد الأدنى (قطر الحد الأدنى). هكذا سيعتمد احتمال نوعيّ الخطأ على قيمة t بالطريقة نفسها الموضحة في الشكل (36). فلو كانت t=0، وكلا من المقياسين هما من الحجم نفسه، ولن تقبل الآلة شيئاً، فإن أخطاء النوع الثاني (العملة الرديئة) لن تحدث أبداً، وستكون أخطاء النوع الأول (رفض العملة السليمة) لازمة الحدوث. وإذا كانت t كبيرة لحد كاف، فإن أخطاء النوع الأول سيتم استبعادها غالباً، وستقبل الآلة العملة السليمة، لكنها ستقبل في الوقت عينه العملة غير المناسبة. لذا سيزداد احتمال النوع الثاني من الأخطاء.

لكي نحدد القيمة المناسبة لـ t، على المصمم أن يبني «وظيفة مخاطرة» فيختار t بحيث يقلل المخاطرة، فيدخل كميتين q_2, q_1 ترتبطان بالخسارة المصاحبة لأخطاء النوع الأول، والنوع الثاني على التوالي، فتأخذ «صيغة المخاطرة» الشكل التالي: $q_2P_2+q_1P_1=R$. ولغرض التبسيط افترض أن $q=q_2=q_1$، أي أن نوعي الأخطاء ينتجان الخسارة نفسها، فتصبح الصيغة كالتالي: $q=R\ (P_2+P_1)$. يظهر شكل (38) تختلف المخاطرة مع قيمة t. مرة أخرى تقلل t^* المخاطرة لأدنى حد ممكن، وهي لهذا القيمة التي على المصمم أن يحددها نوعياً. فتكون مخاطرة القرار الخطأ في أقل حدٍ لها فقط، وكذلك ستتخذ الآلة القرارات المناسبة فقط.



شكل (38)

من اللافت للانتباه أن قيمة t^* مستقلة عن شدة الخسارة q. وستنتج القيم المختلفة لـ q مخاطر مختلفة، لكن تحديد موقع الحد الأدنى سيبقى غير متغير، وبالتالي يمكن للمصمم أن يستخدم صيغة المخاطرة التالية: $P_2+P_1=R$. التي ستبسّط العملية لحد كبير.

نخلص بمناقشاتنا عن القرارات والمخاطرة بالإشارة إلى أن فكرة إدخال المخاطرة أثبتت جدواها الفعلية ليس فقط في علم الجريمة، ولكن في الفيزياء والبيولوجيا والاقتصاد والعلوم الأخرى أيضاً. فعندما نبحث عن قرار ملائم في ظروف معرضة للمصادفة، علينا أن نقوّم المخاطر المصاحبة للقرار، ونحاول أن نجعلها في أدنى حد لها. ويؤكد هذا أن قراراتنا ستكون معقولة قدر الاستطاعة، على الرغم من وجود تدخل المصادفة. بكلمات أخرى: إنها تجعلنا نتغلب على المصادفة وأن نقلل عواقبها المدمرة.

حق الخطأ:

نحن نعيش في عالم الصدفة. عالم لا يمكن التيقن فيه من شيء بنسبة مئة بالمئة. إنَّ كل حكم يجب أن يبدأ بالكلمات: «**كل الاحتمالات ممكنة**» لأن أي تصريح جازم معرض لخطر الزيف والبطلان. فالأرضية المصبوغة بالضجيج الذي تدخله المصادفة، تنتج حالات من الأخطاء من الصعب تجنبها. درسنا في الفصول السابقة وسائل تنظيم كفاحنا ضد تدخل المصادفة، وهو كفاح - كأي كفاح آخر - يتطلب تضحيات وخسائر معينة، وخصوصاً ذلك الشيء الغالي الذي لا يعوض: الوقت. فكما رأينا أن أفضل طريقة لهزيمة تدخل المصادفة هو استخدام الطريقة التراكمية، فإن أي طريقة تراكم تتطلب زمناً يمرُ ويمضي، ولهذا نفقده.

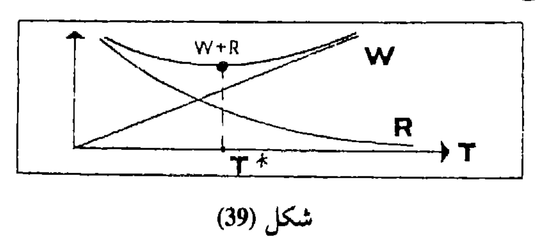
سندرس الآن الموقف التالي الشائع جداً: افترض أننا ووجهنا بعدد من البدائل وكان علينا أن نتخذ قراراً مثل أين نقضي عطلتنا؟: في أوديسا أم يالطا أم سوتشي؟. قبل أن نعمل عقولنا في الأمر، علينا أن نجمع أكثر معلومات ممكنة عن مثل هذه الأماكن كمنتجعات للراحة (كقاعدة ستخضع هذه المعلومات للتداخل من كل نوع). فلو أنك درت تسأل معارفك عن الحياة وشروط الراحة الموجودة في هذه الأماكن الثلاثة، ستسمع آراءً شديدة التناقض. فربما بدأ أحدهم بداية سيئة لسبب ما، ثم قابل فتاةً على الشاطىء وسقط في حبها واستمتع بصحبتها كثيراً. بينما بدأ آخر عطلته بداية رائعة في «شاليه» جميل مواجه للبحر مباشرة، ثم تشاجر فجأة مع زوجته التي صممت أن تحزم حقائبها وتسافر قبل انقضاء نصف العطلة. من الطبيعي إذاً أن الأول سيثني كثيراً، أياً كان المكان الذي قضى فيه عطلته، أما الثاني فسيسافر بانطباع سيّىء عن منتج رائع.

لو أردت أن تتخذ القرار الصائب، عليك أن تنقي المادة الدخيلة الخارجية في المعلومة التي تستقبلها. إحدى الوسائل لتنفيذ ذلك كالتالي: اترك جانباً ثلاث صفحات من كراستك، لتسجيل المعلومات عن الأماكن المرشحة الثلاثة. ضع علامة (+) على الآراء التفضيلية، أما الآراء غير التفضيلية فضع لها علامة (−)، وتأكد بالطبع أن كل هذه الآراء من أشخاص مختلفين، تحترم أحكامهم. بعد ذلك، وقبل الانطلاق لشراء بطاقات السفر، أعد النظر في كراستك وجدول نتائج تحقيقاتك. ربما تنتهي إلى شيء يشبه التالي:

المكان	أوديسا	يالطا	سوتشي
+	8	5	16
-	4	2	7
المجموع	12	7	23

من المحتمل أن أول شيء تفعله هو أن توافق على «قاعدة قرار». هنا يكون الاختيار الطبيعي لمثل هذه القاعدة، أن تأخذ المكان الذي له أعلى نسبة من (الزوائد +). وبعد قليل من الحساب سيصل بنا الجدول إلى أن: **أوديسا... 66%، يالطا... 71%، سوتشي... 69%**. هكذا تمتلك يالطا أعلى نسبة. فهل يعني هذا أنك لن تخطىء لو اخترت يالطا؟.. كلا بالطبع، فالمسألة هي أن النسب المئوية التي حصلنا عليها منذ قليل هي نسب تقريبية لا ينبغي علينا أن نضع وزناً مساوياً عليها. حقاً، تعتمد أهمية أي نتيجة تقريبية على عدد النقاط الفردية التي يمثلها المتوسط. فكلما كانت النقاط (العناصر) أكثر، كلما كانت النتيجة أكثر دقة، لهذا فإن التقويم الأكثر دقة في قيمته الفعلية هو لسوتشي (23 رأياً)، والأقل دقة هو يالطا (سبعة آراء)، فيمكنك أن تكون مخطئاً ـ ببساطة ـ لو اخترت يالطا، لأنه من الممكن كلياً ـ مع معلومات إضافية كافية ـ أن تصل إلى المجموع الكلي للآراء عن يالطا إلى 23 رأياً، وستنخفض نسبة الزوائد (+) ليالطا، فلنقل إلى 67%، وسيغير هذا اختيارك لصالح سوتشي التي هي بنسبة 69%. فماذا ستفعل إذاً؟ لو أنك تريد نتائج مقبولة قبولاً مطلقاً ـ بالكلام الدقيق ـ عليك أن تجمع كثيراً من المعلومات وأن تنفق كثيراً من الوقت في العملية، لدرجة أن المجهود الكلي سيصبح عديم الجدوى، إلا لو كنت مستعداً لتأجيل عطلتك إلى العام القادم. وهذا هو بالضبط سبب أنه عندما تتخذ قراراً، تحدد لنفسك مدة معقولة من الزمن، بحيث تكون مدركاً دائماً أن القرار قد يكون مخطئاً.

لكن، هل قد نستطيع تحديد كمية المعلومات الملائمة التي يجب أن نجمعها لكي نحل مشكلة ما؟ يحدث أننا نستطيع ذلك. علينا أولاً أن نحسب خسارتنا، وستكون من نوعين: تلك التي نقاسيها في عملية جمع المعلومات (باستخدام طريقة التراكم كمثال) وتلك المصاحبة لاتخاذ قرار خاطىء. لغرض التبسيط: لنفترض أن مجموع الخسارات W يتناسب مع الزمن T المصروف في جمع المعلومات [قارن ذلك بالمقولة «الوقت هو المال»]. هذه الخسائر ظاهرة في شكل (39) كخط مستقيم يدل على أن الخسائر المتعلقة بجمع المعلومات تعتمد مباشرة على ضياع الوقت.



شكل (39)

نحسب الآن الخسائر المصاحبة لقرار خاطىء. تعتمد قابلية صنع قرار خاطىء اعتماداً عكسياً على كمية المعلومات المتوفرة توفراً منتظماً. فكلما كانت المعلومات أقل، كلما زاد احتمال الخطأ وعظمت المخاطرة (تذكر أن المخاطرة هي متوسط الخسارة الناتجة عن الخطأ). إنَّ منحنى الخطر في الشكل (39) هو وظيفة هابطة، حيث يرينا أن احتمال الخطأ، وبالتالي المخاطرة، سيقلان كلما زادت كمية المعلومات.

إنَّ الخسارة الكلية المصاحبة لحل المسألة ستكون مساوية لمجموع R+W في هذين النوعين من الخسارة. ويُظهر منحنى هذا المجموع حداً أدنى محدداً جيداً عند النقطة T^*، وهو الزمن المناسب الذي ينبغي أن نقضيه في جمع المعلومات.

لو طبقنا هذه المبادىء، سنضمن أقل مجموع خسائر في المتوسط، حتى ولو ارتكبنا بعض الأخطاء بالصدفة. ومع ذلك، ستسبب لنا هذه الأخطاء أقل عبء في المستقبل، بدلاً من جمع كمية كبيرة من المعلومات التي نحتاجها لتجنب هذه الخسائر.

هذا ما يشكل - إذاً - التبرير النظري لحقّنا في الخطأ. من المسموح كلياً صنع أو ارتكاب الأخطاء، بيد أنه ينبغي أن نحاول تقييم الخسائر التي نتسبب فيها تقويماً عقلانياً.

بل نستطيع أن ننطلق أبعد من ذلك، وندعي أن الأخطاء ضرورية. فلو أن شخصاً ما أو آلة صنع قرار من أي نوع لا ترتكب أخطاء بسيطة، فإننا يمكن أن نتأكد كلياً من أن الشخص أو الآلة لا تعمل بالكفاية المطلوبة. حيث تعني العمليات بلا خطأ شيئاً من شيئين فقط: إما أن معدل الأداء بطيء جداً، لأن وقتاً طويلاً يضيع في تنقية المعلومات، أو أن هناك كمية كبيرة من الوفرة والإغناء لحد غير واقعي، تستخدم لضمان الكفاءة، مثل حل مسألة بعدد من الطرق في الوقت نفسه، ثم اختيار أحداها. في كل من الحالتين [الأداء البطيء أو الوفرة غير الواقعية]، تكون الخسارة المصاحبة كبيرة، وغير مبررة كلياً كذلك.

لكن علينا - في الوقت نفسه - تجنب الاندفاع إلى الطرف الآخر، أي نتجنب الاندفاع في ارتكاب الأخطاء. وعلينا أن نضع في رؤوسنا مفهوم المخاطرة، دون أن ننسى أنها قائمة على عنصرين: تكلفة الخطأ، واحتمالية الوقوع فيه. فلو كلفنا الخطأ قليلاً، ستكون المخاطرة محدودة، ونستطيع أن نتحمل عدداً كبيراً من مثل هذه الأخطاء نسبياً. من الناحية الأخرى، إن كان الخطأ غالياً - خطأ قد يؤدي إلى حادثة مثلاً - علينا أن نحاول جعل احتمال حدوثه أقل ما يمكن بتحسين كفاءة النظام.

أعتقد أنه من المناسب أن ننهي هذا الفصل باستعارة من آشبي R. Ashby، عالم السبرنيتية المشهور، حيث يقول في إحدى دراساته:

«سيكون سهلاً ورخيصاً جداً أن نصنع آلة تحكّم لا تمتلك الدقة بنسبة مئة بالمئة، وإنما تكون دقتها مقاربة لذلك، فلنقل تسعين بالمائة. وهكذا، عندما نستخدم هذه الآلة نستطيع تقييم خطأ عملها المحتمل على أساس نظرية الاحتمالات، وستكون المكاسب التي سنحققها بفعل ذلك - بمعنى التكلفة وبساطة صنع الآلة - كبيرة جداً في الحقيقة. أما الذين يحاولون صنع الآلات الدقيقة بنسبة مئة بالمئة، فإنهم يكرسون جهداً هائلاً لا يصدق، لتحقيق الهدف، وهو جهد لا يسترد أو يعوض مقابله الحقيقي. فمن البساطة بمكان أن تكون لدينا آلة أقل دقة، لكنها في الوقت نفسه أكثر سهولة في الصنع، وأكثر سهولة في الاستخدام أيضاً».

الجزء الثاني

مرحبا بالمصادفة

لا تستخف أبداً بالحوادث الخاصة أو المميزة. قد تكون إنذاراً مزيفاً في الغالب، لكنها أحياناً ما تخفي حقيقة مهمة.

فلمنج

1 ـ شرلوك هولمز يكشف عقله أخيراً.
2 ـ طريقة مونت كارلو.
3 ـ المصادفة في الألعاب.
4 ـ التعلم، المنعكسات الشرطية والمصادفة.
5 ـ المصادفة والتعرف.
6 ـ المصادفة، الانتقاء والتطور.
7 ـ الإحكام الذاتي.
8 ـ البحث (المسارات والانحرافات).

- 1 -

شرلوك هولمز يكشف عقله أخيرا

«آه يا عزيزي واطسون!» تنهد هولمز ومدد ساقيه داخل الرداء فغطاهما، ثم خرجت حلقة من دخان سيجارته إلى السقف. «إنه حدث سار لي، فأنا أشعر كما لو أنني أتغير».

حملق مفكراً في الجمرات المشتعلة في نار الموقد الكامنة، كان اللهيب الممتد من النار الخامدة يصدر ضوءاً مرتعشاً عبر ملامحه الباردة القانية. وسواء كانت الخمر التي تناولها، أو العشاء الفخم الذي أعدته يد السيدة «ن.» الماهرة، أو كان سحر الموقد الذي يخبو ـ أياً كان السبب ـ فقد وجه هولمز تقطيبة تفكيره المعتادة، وأصبح رقيقاً هادئاً. لم يرَ الدكتور «واطسون» صديقه في مثل هذه الحالة أبداً، حالة المحقق الشهير القاطعة المصممة. نظر هولمز كما لو أنه سيبتسم ابتسامة حلوة في أي لحظة، وبدأ يمزح حول نجاحات ابن أخته. ضحك فجأة ضحكة خافتة وقال: «لن تتخيل عزيزي الدكتور مدى الحظ الجيد الذي يعتمد عليه عمل المحقق؟ وصلت أنا نفسي إلى فهم أصيل لهذه الحقيقة بعد أن قرأت الأعمال الأخيرة في السبرنيتية فقط. لقد تأثرت ـ خصوصاً ـ بجزء كتبه عالم التحكم البارز آشبي. فلقد أنشأ هذا الرجل آلة يدعوها «المُثبِّت» «homeostat» ـ أو يمكن أن ندعوها خالقة الاستتباب ـ تصل إلى هدفها بطريقة عرضية كلياً... هذا زاد لحث تفكيرك يا واطسون. أليس كذلك؟!».

«هولمز، فشلت وأنا أتبع قطار أفكارك دائماً!! ما هي الرابطة أو العلاقة الممكنة بين السبرنيتية وعمل المحقق؟! وماذا يمكن أن تعني مشاعرك الرقيقة عن سيدة الحظ، خاصة وأنك تعرف أن المصادفة تمثل عائقاً أمام المحقق في كل مناسبة ممكن تصورها. من المؤكد أن نتائج المحقق يجب أن تكون عبر عملية عقلنة منطقية، بدلاً من إدخال النزوات الطارئة للصدفة!».

«هذا صحيح تماماً يا واطسون، لكنه تقليدي ومعهود كثيراً. نعم، على الإنسان أن يكون منطقياً في استخلاص نتائجه. لكن السؤال هو: كيف يمكن لنا أن نصل إلى مثل هذه النتائج؟. المنطق يسمح للفرد فقط بأن يتأكد من مصداقية نتائجه أو استنتاجاته. لكنه لا يجعله يصل إليها. أتذكر ذلك الفيلسوف الذي قال إن المنطق لا يعلمنا التفكير المنطقي، بالضبط كما أن معرفة العمليات الهضمية لا تحسّن الهضم».

«أنت تحيرني يا هولمز!! ألم أسمعك المرة تلو المرة وأنت تتحدث باهتمام شديد عن ضرورة المنطق في عمل المحقق؟ هل أفهم من ذلك أن رأيك قد تغير؟» سأل واطسون ذلك ببعض الاضطراب.

«لا لم يتغير، لكنه تعمق» أجاب هولمز بتأن، وقد أرسل حلقة دخان أخرى نحو السقف.

«إن كل محاولاتنا لكشف الجريمة بتطبيق الطرق التحليلية ذات قيمة فقط، كقواعد بصمات الأصابع أو الدليل الإبهامي لمبتدئي مدرسة شرطة سكوتلانديارد».

«أحقاً يا هولمز؟!» سأله الدكتور المستثار «وهل ينطبق ذلك أيضاً على طريقتك الاستنباطية الشهيرة؟ ألم تجعلك هذه الطريقة المصحوبة بالعقلنة المنطقية تحل أغرب المسائل المحيرة ببساطة شديدة؟!».

«يا للحسرة!!» علق هولمز بحزن «إن طريقة الاستنباط هي أداة في منتهى القوة، لكن قبل أن يستطيع الإنسان استخدامها يجب أن يكون في متناول يديه كمية غزيرة من المعلومات الأولية، من نوع المعلومات التي لا يمتلكها أي محقق وهو يواصل تحقيقاته فعلياً. المحقق مجبر في هذا الشأن أن يعمل في ظروف قاسية الخصوصية، فأي نفع هنا لطريقة الاستنباط؟ لكن يجب أن أكون صريحاً معك..» - غرق صوته لدرجة الهمس - «أنا لا أستخدم طريقة الاستنباط أبداً».

ذهل واطسون. فتح فمه بجهد ولفظ لاهثاً: «لكن ماذا عن كل هذه القصص، قصصك التي كتبتها ونشرتها تحت اسم مستعار هو كما تذكر «كونان دويل»؟ قدمت فيها وصفاً رائعاً مقنعاً لعملية حل أي جريمة، وهي بالتأكيد تعتمد على طريقة الاستنباط؟!».

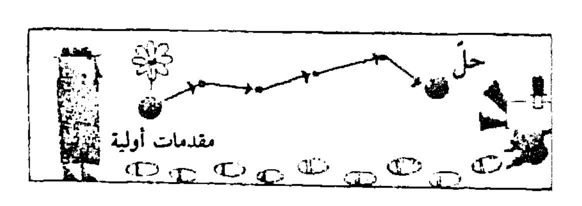
«تلك هي حقاً المسألة كلها» لاحظ هولمز بقلق «لقد كانت وصفاً. من السهل جداً أن تصف جريمة، لكن أن تحلها، آه!! مسألة في غاية الصعوبة. إن طريقة الاستنباط هنا بلا نفع في الحقيقة. كقاعدة على الإنسان أن يلجأ إلى طريقة الاستقراء، على فرض أن الجريمة ليست جريمة تافهة بالطبع. بين أنفسنا، نحن نخلط بين الاستنباط والاستقراء، وهو خطأ لا يُغتفر حتى عند المبتدىء. مع هذا أعترف أنني اعتقدت يوماً أنني أعمل طبقاً لمبادىء الاستنباط، لكن عندما درست الموقف بدقة وعن قرب أكثر، وجدت الأمر على العكس تماماً. الاستنباط والاستقراء - بعد كل شيء - يعارض كل منهما الآخر مباشرة. الاستنباط هو عملية عقلنة تبدأ من العام للخاص. الاستقراء هو النقيض التام: من الخاص للعام. لذا أنت ترى أنني كنت أبشر بشيء وأمارس شيئاً آخر تماماً، لقد فهمت ذلك فقط بعد أن ظهرت الأعمال عن طريقة النشاط الموجّه لحل المسائل، وهي طريقة - أقول لك - مشابهة جداً لطريقة الاستقراء».

«عن ماذا تتكلم بحق الأرض والشيطان؟!» لهث واطسون وهو ما زال مستثاراً جداً «كيف لرجل في ذكائك يدحض مثل هذه المسائل الأساسية؟!».

«القضية كلها في هذا: أنا أصف عملية حل المشكلة بعد أن تكون قد حُلت لا أثناء حلها».

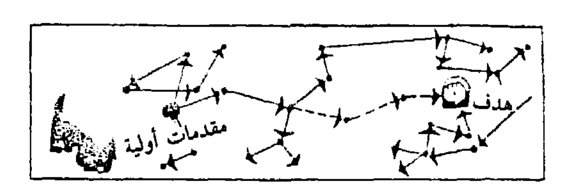
«وأي فرق في ذلك؟!».

«كل الفرق. فبمجرد أن تحل الجريمة، يبدو كل شيء بسيطاً وطبيعياً. عندما نصف العملية يكون تفكير المرء أحادي الاتجاه: سيأخذ كل جزء مكانه الملائم - بشكل لا يخطىء - مع الحل المعروف مسبقاً. لو أردت، يمكن رسم الموقف على هيئة سلسلة من الاستنباطات، شيء كهذا...» وبدأ هولمز يرسم شكلاً تخطيطياً (شكل 40):



شكل (40)

«في الحقيقة»، استطرد هولمز «أثناء عملية التحقيق حتى الوصول إلى حل الجريمة، أمر مختلف كلياً، فالحل لا يكون واضحاً أبداً، ولا يمتلك المرء أي فكرة عن كيفية اكتشافه. إن السلسلة الحقيقية للاستنباطات تشبه جداً سلوك دمية عمياء تخرج للبحث، عن صحن من الحليب». وبدأ يرسم على الورقة رسماً تخطيطياً آخر (شكل 41):



شكل (41)

«أنت ترى هنا كتلة من الترجيحات الخاطئة التي لا يمكن إثباتها، وبالتالي يتم استبعادها. إنَّ المسار الفعلي الذي نأخذه للوصول إلى الهدف يكون متشابكاً ومعقداً إلى حد غير عادي. تلعب المصادفة دوراً حاسماً هنا. فبمجرد أن يكتشف الهدف بالصدفة، يستطيع أي إنسان أن يتتبع آثار المسار المنطقي الأقصر ـ أشرت إليه هنا بالخط المتقطع ـ ولكن كما ترى، لم يكن هو المسار الذي اتبعناه لنصل إلى الهدف».

«إذاً، يمكن للمرء أن يقول إن وصف أي عملية تحقيق تكون استنباطية دائماً، لكن العملية نفسها تتطلب طريقة استقرائية» سأله واطسون بخجل.

«صحيح تماماً. أنت دائماً تلتقط مفاهيمي بشكل رائع عزيزي الدكتور!!».

«وتضع أنت قدمي فيها» خلّص واطسون، «إنها بالضبط كما لو أن لدي تفكيراً مسبقاً لأنشر ملاحظاتك تحت اسم مستعار».

«أرجوك لا تتعب نفسك عزيزي واطسون»، قال هولمز بابتسامة «إن شهرتك ستبقى لن تمس لو كتبت فقط قائمة بجدول الخطأ والصواب تتضمن إشارة عن أن كلمة «الاستنباط» يجب أن تقرأ «الاستقراء» في المتن. سيتعدل كل شيء بروعة».

تأثر واطسون تأثراً عميقاً «لقد عرفت دائماً عزيزي هولمز أن لا شيء هناك أمامك يستعصي على الحل».

صممت هذا الحوار لأبين أن عملية الإبداع في البحث عن الحقيقة لا يمكن أن توصف بدقة

تحت سلسلة متتابعة من الاستنباطات المنطقية، فكل عملية كهذه مصحوبة بعنصر من المصادفة يغني التنوع والإلهام المقدس اللازم للبحث.

سندرس الآن طرقاً متعددة لاستخدام المصادفة: أي طرق التحكم المتنوعة التي تستخدم عنصر المصادفة ومنها طريقة «مونت كارلو».

- 2 -

طريقة «مونت كارلو»

«مونت كارلو»؟ عادة ما نربط هذا الاسم بكازينو موناكو للقمار، الإمارة الصغيرة الواقعة بعيداً في مكان ما في جنوب فرنسا، وتتكون كلياً من مدينة مونت كارلو نفسها.

كيف حدث إذاً وبدأ اسم «مونت كارلو» يظهر كثيراً في صفحات الجرائد والمجلات التقنية والرياضية؟. لنعرف دعنا نلقي نظرة على دولاب الروليت الذي يأخذ شكل صحن دائري ضيق ذي حافة مرفوعة في سطحه الداخلي مئة ثقب ضيق. ترمى كرة خفيفة الوزن في الصحن بسرعة عالية. تضرب الكرة الحافة العليا للصحن بشكل متكرر، حتى تسقط أخيراً في أحد هذه الثقوب. فهل من الممكن أن نتنبأ تنبؤاً دقيقاً بالثقب الذي ستسقط فيه الكرة؟.

هذا ممكن بالطبع لو حددنا الاتجاه الأول الدقيق لحركة الكرة واضعين في الاعتبار أقل ارتعاشة ليد رامي الكرة. ولو حسبنا الاتجاه المضبوط لارتداد كل اصطدام للكرة بحافة الصحن. لو. . بكلمة واحدة، لو أننا عرفنا كل الشروط الحاكمة لحركة الكرة بدقة، أي لو عرفنا حركة كل جزيئاتها، يمكننا ساعتئذ أن نتوقع مكان سقوطها.

مع هذا يتضح تماماً أننا لن نستطيع أبداً تحديد كل هذه العوامل بدقة. وأحد الأسباب الرئيسية موجود في مبدأ «اللايقينية» الذي ناقشناه في الجزء الأول من هذا الكتاب. فطبقاً لهذا المبدأ، من المستحيل أن نقيس الحركات الدقيقة لجزيئات الكرة. بالإضافة إلى أن العوامل المصاحبة تتزايد باستمرار وتتغير بسرعة عالية لن نكون قادرين أبداً على مجاراتها. ونتيجة لهذا، ستظل الكرة تسقط باحتمالات مساوية في أي ثقب، حتى في حالة إهمال مبدأ اللايقينية.

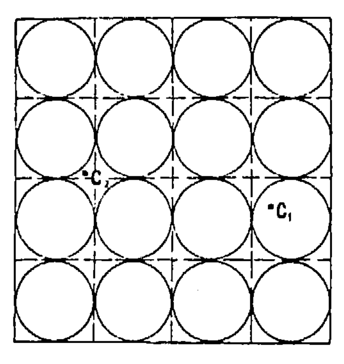
في الطبيعة وفي التكنولوجيا وفي الحياة العادية، هناك عمليات كثيرة هائلة العدد يمكن أن توصف طبقاً لنظرية الاحتمالات: انهيار صخور جبلية كمثال. طيران طائر لاصطياد سرب من الذباب الصغير. عدد المسافرين في القطارات أو الترام أو الطائرات. عدد الإفلاسات أثناء أزمة اقتصادية أو مالية. عدد الأسماك الصغيرة والكبيرة في كمية مياه محددة. عدد الأطفال الذين سيولدون في فترة خمس أو عشر سنوات. هناك ملايين الأمثلة مثل هذه التي يحتوي كل منها عنصراً من اللايقينية، وسؤالاً لا إجابة عليه. لكن هناك أسئلة كثيرة من هذا النوع لا بد من إجابتها مثل: ماذا سيكون دخلنا السنوي من الطيران، السكة الحديد، السفن وعربات الترام؟ كم مصنعاً سنبنيها في السنوات القليلة القادمة؟ وكيف سيكون حجم المصانع لسدّ حاجات السكان؟ وما هي حاجات أولئك الناس؟

وللإجابة على أسئلة كهذه، نستخدم مناهج مبنية على نظرية الاحتمالات، وهي لا تقدم لنا إجابة دقيقة، لكنها تجعلنا قادرين على التحديد الدقيق للحدود التي ستختلف فيها الكمية التي نرجوها، أو احتمالات حدوث حدث خاص. إحدى هذه الطرق يمكن أن نسميها طريقة مونت كارلو. ولكي نقدم فكرة عن جوهر هذه الطريقة، سندرس مثالاً بسيطاً، لكنه مثال موح يضيء لنا الطريق.

تجربة ونموذجها الحسابي:

افترض أننا أردنا أن نجد مساحة دائرة يساوي نصف قطرها 1 سم، علينا أن نجدها باستخدام المعادلة ط. نق^2 = 3.14×1^2=3.14 سم^2، وهو يساوي (ط). لكن هل تساءلت كيف يمكنك تحديد قيمة (ط)، حتى ولو كانت تقريبية فقط؟. في الحقيقة أنت تستطيع أن تفعل هذا ببساطة بطريقة مونت كارلو.

سنأخذ حبة رمل ونرمي بها عدداً كبيراً من المرات على ورقة مرسومة بمجموعة من الدوائر، نصف قطر كل منها 1 سم كما في الشكل (42). ستسقط الحبة إما داخل الدوائر أو في الفراغات بينها (C_1 مثال لنقطة داخل الدائرة، C_2 لنقطة خارج الدوائر) كلما ازدادت المساحة الكلية التي تحتلها الدوائر، كلما ازداد سقوط الحبات داخلها.



شكل (42)

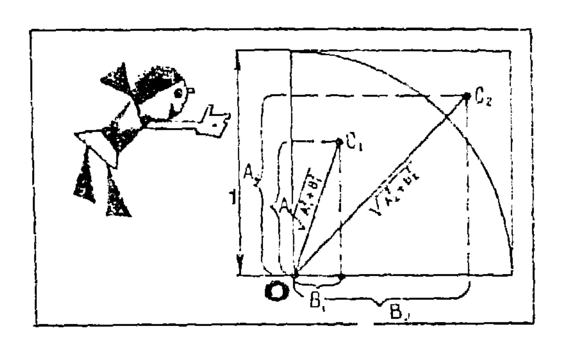
افترض أننا أخذنا مساحة مربعة تساوي 100 سم^2، ورسمنا فيها دوائر بشعاع 1 سم (سيكون هناك 25 دائرة)، وافترض أنه في ألف (1000) رمية، سقطت حبة الرمل 700 مرة داخل الدوائر، و300 مرة في الفراغات بينها. من الطبيعي إذاً أن نفترض أن المساحة التي تحتلها الدوائر يمكن الحصول عليها بواسطة نسبة عدد مرات السقوط (n) داخل الدوائر إلى عدد الرميات (N)، أي n / N = 1000 /700=7/10 من المساحة الكلية للمربع، أي 70 سم^2. وبقسمة هذه النتيجة على 25، نحصل على مساحة الدائرة الواحدة، ونستطيع من هذه أن نحسب بسهولة قيمة (ط). وستصبح القيمة الناتجة أكثر دقة لو رمينا حبة الرمل أكبر عدد ممكن من المرات، هنا نلاحظ أن تجربة من هذا النوع تأخذ وقتاً طويلاً جداً.

افترض أننا نحاول تسريع التجربة بإنشاء نموذج حسابي لها. يظهر شكل (43) جزءاً من الميدان

الذي نرمي فيه حبة الرمل. من منظور تماثل كل الميدان، ليس لنا إلاّ أن نأخذ جزءاً فقط يحتوي قطاعاً من ربع دائرة، وتستطيع أن تتأكد بسهولة أن الميدان الكلي يتكون من مائة من هذه العناصر. ولتشابه الرمي العشوائي لحبة الرمل، سنختار عددين عشوائيين B, A بين الصفر و 1، لكن ليسا مساويين لأي منهما هكذا:

$$0 < A < 1 , 0 < B < 1$$

وبالبدء عند الجذر 0 (شكل 43) نكوِّن طولاً مساوياً للعدد (A) على طول الإحداث السيني (الرأسي)



شكل (43)

وطولاً مساوياً للرقم (B) على الإحداث الأفقي، ثم نحصل على النقطة (C) عند تقاطع الخطوط المتماسة. هكذا تحدد الأرقام A_1, B_1 النقطة C_1، والأرقام A_2, B_2 النقطة C_2. وتمثل النقطة C_2, C_1نقطتين مختلفتين لسقوط حبة الرمل في التجربة الفعلية. ولو أن $A^2+B^2 \leqslant 1$ (تساوي أو أقل من الواحد)، ستسقط الحبة داخل الدائرة، ولو أنها أكبر من الواحد ستسقط خارجها. لذا لكي نحدد إن كانت نقطة «C» ستسقط داخل الدائرة، علينا أن نراجع فقط إن كان عدم تساوي $A^2+B^2 \leqslant 1$ قد تأكد.

نحن الآن في وضعية تمكننا من تعريف العلاقات بين الملامح الضرورية للتجربة، وكذلك للنموذج الرياضي. إن النموذج الحسابي جاهز للاستخدام. الآن وبدلاً من تأدية التجربة

التجربة الفعلية	النموذج الحسابي
1 ـ رمي حبة رمل في الميدان (شكل 42)	1 ـ اختيار عددين عشوائيين B, A أكبر من 0 وأقل من 1
2 ـ مراجعة إن كانت الحبة ستسقط داخل إحدى الدوائر أو خارجها	2 ـ مراقبة ان كان عدم التساوي $B^2+A^2 \leq 1$ قد تم التأكد منه

الفعلية (رمي الحبة على مجال محدد نستطيع أن نحسب نواتج التجربة مباشرة، وكل ما نحتاجه هو جدول من الأعداد العشوائية، وقلم وقطعة من الورق.

لهذا من الممكن أن نُحِّل مكان تجربة فعلياً نموذجاً رياضياً، أي بالحساب، ونقارن بين مزايا

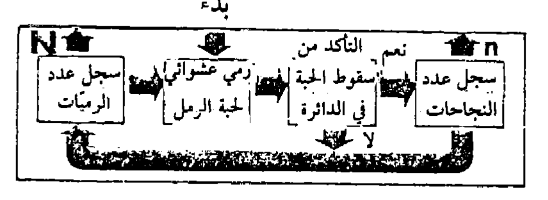
هاتين الطريقتين لتقدير (ط) باعتبار عاملين خاصين: تدخل المصادفة والزمن المستهلك في عدد مرات الرمي نفسه في أي منهما. التجربة الفعلية كأي عملية حقيقية أخرى تكون عالية القابلية لتدخل المصادفة، ويجعل التدخل وجودها محسوساً. فعلى سبيل المثال في عدم دقة تحديد مكان سقوط حبة الرمل، وفي عدم استواء سطح الميدان (تميل الحبة إلى تفضيل انخفاضات السطح)، وعدم دقة رسم الميدان نفسه (دوائر غير مثالية)، وكل عدم الدقة المركب هذا يختفي من النموذج الحسابي. ورغم ذلك هناك عوامل تدخل أثناء العمل كذلك (أخطاء في الحساب، سهو مثلاً).

لكن يمكن تخفيض تلك العوامل إلى نسبة غير ذات بال، ومن ثم يمكن إهمالها. إذاً ستُفضّل التجربة الحسابية على التجربة الفعلية من زاوية ارتكاب الأخطاء. أما من ناحية الزمن أو الوقت فنقول كلمة هي أن النصر يكون في جانب التجربة الفعلية، لأن الحساب وجمع مربعين على الورق سيستغرق وقتاً أطول من مجرد رمي حبة من الرمل. هكذا سيهزم القائم بالتجربة، ذلك الذي يعاني غالباً من الفشل، الرياضي السريع الماهر.

لكن ماذا عن الحواسيب ذات السرعات العالية التي يمكن أن تحسب مجاميع كهذه في ثوان معدودة؟ هل نستطيع أن نستخدم أحدها هنا؟. سنحاول ذلك.

يستطيع حاسوب الاستخدام العام ذو السرعة العالية أن يتعامل بسهولة مع مشكلة كهذه في وقت قصير جداً جداً. لكنه يجب أن يبرمج ليقوم بهذا، وعلى شخص ما أن يصمم البرنامج. بالضبط كأي حاسب بشري، ينبغي أن يعرف عند مرحلة معينة، أي أرقام يضمّنها في حسابه وكيف يتعامل معها، لذا فعلىٰ الحاسوب أن يعرف ماذا يفعل وكيف يفعله، وإلا فإنه لن يؤدي وظيفته. وهذه وظيفة برنامج الحاسوب.

افترض أننا ألقينا نظرة على كيفية كتابة برنامج الحاسوب. أولاً: نحن نخطط برنامجاً عن التجربة نفسها. ويمكن ملاحظة ذلك في شكل (44) حيث يمثل كل مستطيل في الشكل عملية ضرورية في التجربة.



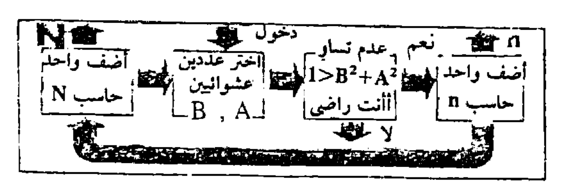
شكل (44)

تشير الأسهم الخارجة من كل مستطيل إلى العملية التالية التي يجب أن تؤدى بعد المستطيل السابق، وحيث يوجد مستطيل يخرج منه سهمان، فإن الظروف التي تمر بها العملية التالية لكل سهم ينبغي أن يشار إليها.

الشكل الكلي للتجربة يحتوي عمليتين أساسيتين: سجل لمجموع عدد المرات التي ترمى فيها حبة الرمل، وسجل لعدد الرميات الناجحة: يجب أن يشتمل البرنامج على الإجراءات الواضحة الأكثر

دقة نفسها، لكي يرتبط ارتباطاً دقيقاً بالتجربة الفعلية. وهذا ما يحدث. فعندما نرمي حبة الرمل نحسب عدد مرات سقوطها داخل الدائرة، والمجموع الكلي لعدد مرات الرمي، فإن استبعد هذا التفصيل، تصبح التجربة كلها بلا معنى، لأن الأعداد n, N، تكوّن المعلومات المصممة للإمداد بها.

يصمم برنامج الحاسوب بطريقة مماثلة تماماً. والطريقة التي يأخذها مبيَّنة في الشكل (45). هنا ترتبط حاسبات (n, N) بعمليات التسجيل في التجربة الفعلية.



شكل (45)

لو درسنا الشكلين بتمعن، سنلاحظ أنهما متشابهان جداً في العموم، ولهما بنية متماثلة، فلكل منهما عدد المستطيلات نفسه، وعدد الأسهم التي تشير إلى الاتجاهات نفسها، وتدل على مجموعة العلاقات ذاتها بين العمليات المختلفة، وهذا قلما يثير الدهشة، لأن الشكلين يصفان ـ بالضرورة ـ معلومة واحدة، وعمليتها التي تحدد الأرقام n, N، ولذا يمكن أن نتوقع النتيجة ذاتها في كلتا الحالتين، سواء رمينا حبات الرمل مراقبين مكان سقوطها ـ طبقاً لبرنامج التجربة الفعلية ـ أو أننا نقوم بالتجربة عينها رياضياً بواسطة سلسلة من الحسابات ـ طبقاً لبرنامج النموذج الحسابي.

هكذا نمتلك طريقتين في متناول أيدينا للحصول على النتيجة المطلوبة (الرقم n): التجربة الفعلية من جانب، وحسابات حاسوب قائمة على النموذج الحسابي للتجربة من الجانب الآخر. افترض الآن أننا رسمنا جدولاً يظهر كل (ما مع)، و(ما ضد) كلٍ من الطريقتين:

	التجربة الفعلية لتحديد n	حساب الحاسوب لتحديد n
مع	1 ـ البساطة (لا حاجة لجهاز حاسوب) 2 ـ القدرة على الإثبات	1 ـ السرعة 2 ـ N كبير
ضد	1 ـ خسارة وقت طويل 2 ـ N صغير	1 ـ الحاجة لتصميم برنامج 2 ـ الحاجة لوجود جهاز حاسوب

يظهر هذا الجدول بوضوح أن الحساب أفضل من التجربة بفرض أننا لا نهاب الحاسوب ولدينا القدرة على استخدامه ـ من الناحية العملية يستطيع أي إنسان أن يمتلك جهازاً خاصاً ـ وعلينا بالطريقة ذاتها أن نعرف جيداً أن النموذج الحسابي للتجربة مطلب مسبق للحساب، حيث إنه لو كان لدينا هذا النموذج فقط، لاستطعنا إجراء التجربة على الحاسوب والاستفادة من مزايا سرعته الهائلة بإتمام عدد من المحاولات. تسمىٰ هذه المشابَهة للتجارب الفعلية على الحواسيب **طريقة مونت كارلو**.

إنَّ عنصر المصادفة ضروري كلياً لهذه الطريقة، لأنه هو وحده الذي يعكس العشوائية واللاتيقن

الكامن في التجربة الفعلية التي نرغب في مشابهتها. وعلى هذا الأساس، تُعرف طريقة مونت كارلو غالباً باسم: **طريقة المشابَهة الإحصائية (الاحتمالية)**.

تولِّد المصادفة في الحاسوب بأجهزة تعرف بـ «مولدات الأعداد العشوائية» وهي تعكس العمليات العشوائية التي توجد في التجربة الفعلية. وتجعلنا هذه الأجهزة نضع نموذجاً حسابياً مناسباً بدلاً من التجربة الفعلية الطويلة والبطيئة جداً، بواسطة تكرار التجربة في الحاسوب مئات المرات.

إن العشوائية التي تقوم الآلة بمشابهتها هي مثال عن المصادفة الضرورية والنافعة، وهي تُظهر دور الاحتمالات في التجارب الفعلية. قد يكون هذا مفيداً أو ضاراً، ويَظْهر كنوع من التداخل. ففي التجربة المذكورة استطعنا أن نحدد الرقم (n) بواسطة الرميات العشوائية: المصادفة نافعة. في معظم الحالات الأخرى ترفع المصادفة رأسها القبيح كمصدر للتدخل، لكن مشابهتها ممكنة بواسطة طريقة مونت كارلو.

مونت كارلو والصواريخ البالستية:

سنرى الآن كيف يمكن تطبيق طريقة مونت كارلو في حساب نقطة سقوط صاروخ قاذف. إنَّ مسار الصاروخ ونقطة ارتطامه يمكن أن يحسبا بدقة كاملة لو عُرفت كل المقاييس الحاكمة لطيرانه معرفة دقيقة. فسنحتاج إلى معرفة الوزن الكلي الدقيق للصاروخ ووقوده، وقوة الرياح أو شدتها بالضبط، الاتجاه في طبقات الجو المختلفة التي سيعبرها الصاروخ، ودرجة الحرارة والضغط واختلافات كثافة الهواء في كل نقاط مساره ووو. . . وكثيراً، بل أكثر من ذلك.

لكن عند الممارسة العملية، يكون من المستحيل كلياً تحديد القيم الدقيقة لكل هذه المقاييس لأنها تتغير، بل وتتغير بسرعة. وكل ما تقوم به الملاحظة الدقيقة أو الدراسة ليس أكثر من وضع الحدود التي تختلف بينها تلك المقاييس، وتحديد خواصها الاحتمالية. فمن أين نبدأ سيرنا هنا؟

لتحديد دقة ارتطام الصاروخ، نستطيع أن نقوم بعمل مشابه للعمل الذي استخدمناه في تجربة حبة الرمل. ويمكننا أن نصمم برنامجاً لحساب مسار الصاروخ، بحيث يحتوي هذا البرنامج مقاييس مجهولة القيمة بالنسبة لنا. وما سنفعله هو اختيار قيم عشوائية في الحدود الملائمة لكل منها، ثم نقوم بالحساب على أساس هذه القيم لتحديد مكان سقوط الصاروخ، ثم نقوم بحساب ثان مستخدمين مجموعة ثانية من القيم العشوائية المختارة في نطاق كل من المقاييس غير المعروفة، ثم نجري حساباً ثالثاً بمجموعة ثالثة من القيم. . وهكذا. وعندما نتم سلسلة كلية من هذه الحسابات، نحصل على مجموعة من نقط سقوط الصاروخ، وهي نقط عشوائية يتم الوصول إلى كل منها نتيجة حساب «عشوائي»، لكن عدداً كبيراً منها سيميز منطقة تعرف باسم **مقطع الانتشار** Scatter ellipse، وهذا القطع الناقص (المقطع)، يحتوي على معلومات قيِّمة جداً تتعلق بإمكانيات وفعالية الصاروخ، وتحدد بدقة المنطقة التي سيسقط فيها الصاروخ غالباً، وتقيس الدقة التي يمكن توقعها في قدرة الصاروخ. . إلخ.

إذاً، رأينا بمساعدة طريقة مونت كارلو كيف نستطيع الوصول دائماً إلى معلومات قيِّمة بالنسبة لنقطة سقوط الصاروخ دون الحاجة إلى سلسلة إطلاق صواريخ غالية ومكلفة جداً. فنكون قادرين بالتالي على تحقيق توفير هائل في الوقت والمال.

تُطبق الطريقة ذاتها ـ مبدئياً ـ لحل عدد من المسائل الرياضية الفيزيائية المتعلقة بالتوصيل الحراري. ونستطيع تبيين ذلك بالمثال البسيط التالي:

سكير يحل مسألة:

سكير؟!

نعم بالتأكيد! بل ليس مجرد ثمل صغير. إنه سكير أعمى، لدرجة أنه عندما يجد نفسه في تقاطع طرق، يكون لامبالياً كلياً بالنسبة للطريق الذي سيأخذه. وفي مثل هذه الحالة من الغيبوبة الكحولية بالضبط، يكون السكير قادراً على مساعدتنا على حل واحدة من أعوص مسائل الفيزياء الحسابية، مثل مسألة التوصيل الحراري في وسط متصل، أأنت مندهش؟! لا تكن متعجلاً جداً. سندرس مسألة تسخين قرص مستوٍ، أو كما يقول عالم الطبيعة: حالة التوصيل الحراري ذي البُعدين، وهي مسألة قد يدعى أي إنسان لحلها. أي إنسان تعامل مع غلاف أو غطاء كثير من الأدوات الحرارية مثل مجففات الشعر أو الرءوس الحربية للصواريخ المقذوفة أو أفران الصهر.. إلخ. من المهم جداً مع أي من الأدوات المعدنية، القدرة على تحديد سلوك التوترات الحرارية التي تظهر داخل الأداة: لو أصبحت هذه التوترات كبيرة جداً، فقد نتوقع كارثة.

لغرض التبسيط، سنأخذ قرصاً مستطيلاً حوافه محفوظة في درجة حرارة معينة. المسألة: حساب درجة الحرارة عند أي نقطة من القرص. نُختار نقطة الحساب عشوائياً.

من المحتمل أن ينزعج القارىء عند هذا المنعطف، بسبب عدم وجود عنصر مصادفة تتضمنه المسألة، ومع هذا نقول إن طريقة مونت كارلو تنطبق **فقط** على التجارب التي تكون فيها الصدفة عنصراً مركزياً حاسماً، فإن كان هذا الانزعاج موجوداً يصبح غير مبرر أبداً. قوانين التوصيل الحراري تتحدد بالديناميكا الحرارية، وترتبط الديناميكا الحرارية بالعمليات الإحصائية (الاحتمالات) ارتباطاً وثيقاً جداً.

من المعروف الآن أن الحرارة لا يتم توصيلها بشكل متصل، لكن في كميات صغيرة منفصلة أو في تجمع كمّات quanta(*) كما يسمونها. ونستطيع أن نحسب حركة كمات الحرارة باعتبارها في حالة **فوضى**، أي أن الكمّات تتحرك في اتجاهات عشوائية. فإذا تجمع عدد كبير منها عند نقطة محددة، فستسخن تلك النقطة إلى حد أكبر مما لو أن عدداً قليلاً من الكمات تجمع عند نقطة أخرى.

ولإيجاد درجة الحرارة عند نقطة معينة على القرص، ينبغي أن نحدد كيف تصل كمات الطاقة إلى النقطة من الأجزاء المختلفة للقرص. وكل كمّ (كوانتم) يسير في مسار عشوائي عبر القرص، مبتدئاً عند إحدى الحواف، لينتهي عند حافة أخرى، والطريق الخاص الذي يأخذه هو مسألة مصادفة مطلقة. يتضح اتضاحاً كافياً أن كل نقطة على القرص لها عديد من تلك الممرات العشوائية النابعة عند الحواف المختلفة للقرص والمارة بها. وتساوي درجة حرارة كل نقطة القيمة المتوسطة لدرجات الحرارة الآتية إليها. فمثلاً، لو أن درجة حرارة نقطة تقاطع ممرات الكمات الصادرة عند إحدى الحواف هي

(*) الكمّات quanta هي أصغر وحدات يمكن أن توجد في الطاقة... جمع «كم» Quantum (المترجم).

50°م، فستكون درجة الحرارة قريبة من 50°م. مرة أخرى، إذا كانت درجة حرارة ممرات الكوانتا (الكمات) المتقاطعة عند الحواف درجات مختلفة: بعضها 50°م مثلاً، والبعض الآخر 20°م، وكان هناك ممران درجة حرارتها هي 50°م، فإنه يمكن تحديد درجة الحرارة عند النقطة المطلوبة ـ كما خمنت ـ بالمعادلة التالية:

$$\text{درجة الحرارة} = \frac{2\times50+20}{3} = 40^\circ\text{م}$$

مع هذا، يستطيع مخمور أن يحل هذه المسألة (كما قلنا) ـ كالتالي: ـ دعنا نتخيل للحظة أن هناك مدينة لا يسكنها إلا المخمورون ـ يقدم المؤلف اعتذاره مسبقاً لاختراعه مثل هذا النوع الدقيق من البشر ـ ودعنا نفترض أن هذه المدينة قد بنيت على خطة مستطيلة تشبه شكل قرصنا المستدير، وأن كل دكاكين الخمر فيها موضوعة على محيطها، ومتخصصة لدرجة أن كل دكان منها يبيع خمراً من نوع محدد فقط، ومعين برقم يرمز إلى قوتها. لذا فإن محل الخمور رقم 40 يبيع نوع «الشيري» فقط، ويبيع المحل 60 «الروم» فقط، ويبيع المحل رقم 12 الخمور الجورجية فقط. . . إلخ. فلنفترض الآن افتراضاً تالياً، أن أرقام محلات الخمور ترتبط أو تعكس درجات الحرارة عند حواف القرص المستدير المسخن: هكذا تتوافق كل النقاط، نقطة بعد أخرى، ودرجات الحرارة عند حواف القرص، ودرجات إثبات قوة المشروبات في محلات الخمور، والأرقام المحددة لها جميعاً حول حدود مدينتنا المتخيلة ـ مع بعضها البعض.

يترنح سكان هذه المدينة المخمورة عند أول دكان يقابلونه. يشغلون أنفسهم بزجاجة، ويبدأون في تلك اللحظة سكرهم. يتجولون بالطبع داخل الشوارع تجولاً عشوائياً، وعندما يقابلون مواطنين آخرين مشغول كل منهم بزجاجته المحتومة أيضاً، يختلطون في مجموعة «كوكتيل» بتوحيد محتويات الزجاجات المختلفة بنسب متساوية. تحتوي قوة الكوكتيل (الخليط) على المعلومات عن مكان أو مصدر الزجاجات، وعن درجة حرارة النقطة التي يجري عليها الكوكتيل. بكلمات أخرى: لتحديد درجة الحرارة عند أي نقطة على القرص، علينا فقط أن نتذوق المزيج عند النقطة المعنيّة في مدينة المخمورين.

مع هذا، فإن المراقبة المحدودة للطرق الشاردة التي سيأخذها أصدقاؤنا السكارى كافية لإقناعنا أن رغبتنا في أخذ عينة وفي تصنيف الكوكتيل عند أي نقطة سيعترضها ـ على الأقل ـ شرطان: **الأول**: علينا أن ننتظر وقتاً طويلاً جداً بين السكارى المتتابعين، هذا إذا التقطنا التقاطع المقترح لأخذ العينة عنده، وذلك لسبب بسيط هو أن تسكع السكارى بلا هدف حول المدينة يجعلهم لا يصلون غالباً إلى النقطة التي ننتظرهم فيها. علاوة على أن معظمهم لا يمرون أبداً بها. وبالتالي تُعرِّضنا أي محاولة لتحديد درجة الحرارة عند النقطة ـ بهذه الطريقة ـ إلى كمية كبيرة من الخسائر غير الضرورية. **الثاني**: هو في صعوبة انتظار وقت أطول لعديد من المواطنين ليتقابلوا عند التقاطع في الوقت ذاته ويبدأوا في خلط الشراب [هذا هو الحدث الذي ننتظره حقاً بعد كل شيء]. بيد أننا نستطيع التحايل على ذلك بجمع إتاوة من كل مار قريب، بدلاً من انتظار اثنين أو أكثر يمرون في الوقت ذاته ووضعهم جميعاً في زجاجة واحدة. وستجعلنا جرعة من هذه الزجاجة قادرين على التحديد السهل لقوة الخليط الناتج ودرجة حرارة النقطة المحددة على القرص المسخّن.

لكن كيف نستطيع ترتيب الأدوار بحيث يظهر السكارى عند تقاطعنا أكثر فأكثر، وحيث إننا لا نقدر على مناداتهم أو دعوتهم دون أن نخرب عشوائية تجوالهم؟ فماذا نفعل إذاً؟! تكمن الإجابة في استخدام آلة خداع تعتمد مرة أخرى على الاستفادة من مزايا المصادفة. فلو نظرت إلى ممر عشوائي ينتهي فجأة عند حواف القرص، فلن تستطيع أن تقول أين يبدأ وأين ينتهي؟، وذلك لأن اتجاه الحركة على طول أي مسار عشوائي تكون غير محسوبة، وبالتالي فإن ما نحتاجه فقط هو أن ندرس الممرات الخارجة من النقطة المطلوبة، ونتتبعها إلى حيث تنتهي عند إحدى حواف القرص. ثم نعكس الحركة ببساطة، ونتعامل مع الموقف كله كما لو أنه كان جولة أخرى في الطريق، أي كما لو أن تلك الممرات جلبت إلى النقطة المطلوبة درجات حرارة الحواف التي تنتهي عندها (أو من حيث أتت، تبعاً لرؤيتنا المعكوسة للموقف).

نستطيع تطبيق هذه الطريقة على مدينتنا المبتهجة كالتالي: عشوائياً، نختار مواطناً شديد السُكر، ونضع عليه علامة، ثم نطلقه عند التقاطع المحدد الذي يهمنا. في الوقت ذاته نطلب من كل واحد من أصحاب محلات الخمور أن يهاتفنا إنْ كان الرجل ذو العلامة قد أنهى تجواله في محله الخاص. ونفعل الشيء نفسه مع عديد من عُبَّاد الكأس. كل ما علينا إذاً أن نجهز الهاتف ونسجل أرقام المحلات كلما هاتفنا أصحابها. افترض مثلاً أننا حصلنا على مجموعة مكالمات من المحلات: 40، 40، 60، 20، ستكون قوة الكوكتيل عند النقطة المطلوبة إذاً: $1/4(40+40+60+20) = 40^{o}$م. وطبعاً للمشابهة، فستكون تلك درجة حرارة النقطة على القرص المسخن (40^{o}م). يحدث أن مشكلة تحديد درجة الحرارة عند نقطة محددة تحل ببساطة شديدة، بتعقب آثار عدد من الممرات العشوائية من النقطة نفسها، وتسجيل درجات الحرارة عند نقاط التقابل مع حواف القرص، متذكرين أن تلك الدرجات عند الحواف تكون موجودة في بيانات المسألة، ويمكن اعتبارها معروفة. ستكون إذاً درجة حرارة النقطة المختارة، مساوية للمتوسط الحسابي لدرجات الحرارة عند نهايات الممرات العشوائية المغادرة للنقطة.

يطرح كل هذا قاعدة مونت كارلو وتطبيقها على مسائل التوصيل الحراري. لكن أين في هذا التشابه (التماثل)، النموذج الذي تحتاجه الظاهرة أكثر؟

كل ما كنا نفعله في الحقيقة هو تطوير نموذج للتوصيل الحراري في قرص، وحيث أن كميات الحرارة الفردية تتحرك بعشوائية أكبر، فإننا سنختار - كقاعدة نموذج - موقفاً لموضوعات تتحرك عشوائياً: أي مجموعة من السكارى يسيرون في طرق عشوائية داخل المدينة. وبهذا النموذج سنكون قادرين على حل المسألة.

نموذج للسكير:

كنا نتحدث عن ممر عشوائي أعده السكير، كما لو أنه كان المادة الحقيقية للنموذج. واجهنا بعض المتاعب لنتأكد من أن لدينا سكيراً، لأننا أردنا شخصاً ما يهيم على وجهه حول المدينة عشوائياً. مع هذا، لنحل المسألة على حاسوب إلكتروني، علينا أن نُشَابِه ممرات عشوائية دون اللجوء إلى خدمات زحام المخمورين. فكيف يمكننا فعل هذا؟

إنَّ إحدى طرق تخطيط الممرات العشوائية تكون كالتالي: نأخذ حاجزاً شبكياً مستطيلاً دقيقاً،

سنتحرك عليه من عقدة إلى عقدة. سنختار أي عقدة على الحاجز كنقطة انطلاق (تشبه تقاطع الشوارع في مدينة السكارى)، ثم نختار اتجاهاً من أربعة (فوق ـ تحت ـ يميناً ـ يساراً)، ونتحرك إلى العقدة التالية في الاتجاه الذي اخترناه. وحيث إن الممر عشوائي كلياً، فإن كلاً من الاتجاهات الأربعة يجب أن يكون متساوي الاحتمالات. ولكي نجعل اتجاه الحركة عشوائياً، نستطيع استخدام حيلة بسيطة، برمي قطعتين معدنيتين في الوقت نفسه، لكل رمية مضاعفة أربعة احتمالات: ص ص، ص ك، ك ص، ك ك. حيث تعني (ص): صورة، و(ك): كتابة. بعد ذلك نحدد معنى (اتجاهاً) لكل من هذه النتائج الأربع كالتالي:

ص ص = فوق　　ك ك = تحت　　ص ك = يميناً　　ك ص = يساراً

من الواضح أن رمي القطعتين يعطينا سلاسل من الأوامر العشوائية كلياً. يتكون العمل إذاً من: رمي القطع النقدية، قراءة الاتجاه والتحرك إلى العقدة التالية مباشرة على اللوح الشبكي في الاتجاه المشار إليه، ثم رمي القطع مرة أخرى، وتحديد الاتجاه الجديد والتحرك إلى العقدة الموالية في ذلك الاتجاه، ثم رمي القطع النقدية مرة جديدة. وهكذا. سيكون المسار الذي سنحصل عليه فعلياً مصنوعاً من حلقات صغيرة من خطوط مستقيمة موازية لمحاور الحاجز الشبكي، بما يشابه التجوال العشوائي على سطح مستوٍ.

لغرض التلخيص: إنَّ جوهر طريقة مونت كارلو هو المشابهة الحسابية للتجربة الفعلية التي تحتوي على عنصر حتمي للمصادفة، حيث يحل ـ مع إعادة التجربة الفعلية عدة مرات ـ تكرار الحساب القائم على نموذج رياضي للتجربة. الشيء الوحيد الذي يواجهنا بالمصاعب هو تصميم النموذج، وبمجرد صنعه، يمكن حل أي مسألة أو مشكلة بطريقة مونت كارلو بجهد قليل لاحق، يتعلق بكتابة برنامج وإدخاله في الحاسوب. لهذا يمكننا أن ندعو طريقة مونت كارلو طريقة **التجريب الحسابي** أو طريقة **المحاولة الإحصائية**، ونشدد بهذا على الطبيعة التكرارية للطريقة.

نخلص إذاً إلى أن طريقة مونت كارلو قد فهمت وتطورت فقط بعد ظهور الحاسوبات عالية السرعة على أرض المسرح. وسيكون تطبيق الطريقة تطبيقاً يدوياً في جانب القضية كلياً، لأن الملمح الرئيسي في هذه التقنية يتكون من عدد كبير من حسابات من نوع واحد، بالضبط كما لم يكن هناك رجل واحد ولا مادة واحدة أياً كانت قوتها تستطيع بناء الهرم الأكبر دون مساعدة. ليس هناك رجل يعمل وحده يستطيع أن يستخدم طريقة مونت كارلو دون مساعدة حاسوب. فطريقة مونت كارلو تتعلق فقط بالحاسوبات الكبيرة عالية السرعة. تلك ملاحظة أخيرة.

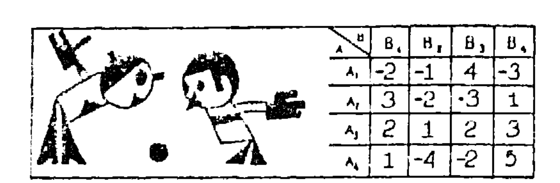
- 3 -
المصادفة في الألعاب

تقدم الألعاب مجالاً غنياً لدراسة المصادفة. نعني بـ «اللعبة» موقفاً يتواجه فيه جانبان، لكلٍ منهما عمله الذي يتفاعل في شبكة من القواعد المحددة. ولقد بدأت «نظرية الألعاب» تجتذب حديثاً اهتماماً متزايداً بسبب أهميتها في حل المشاكل التي تظهر في عدد من المواقف المهمة التي تتضمن الصراع، وبشكل خاص تلك التي تتعلق بالعمليات الحربية.

لقد وُجد أن ألعاب الأطفال مثل عصا الرجل الأعمى ولعبة الاستخفاء (الاستغماية) وغيرهما، وكذلك ألعاب الكبار ـ الورق مثلاً ـ تكوِّن نماذج متواضعة عن العلاقة بين بلدين، أو ـ دعنا نقول ـ بين عدد من الشركات . . . إلخ.

إن الملامح النوعية الأكثر ضرورة لأي لعبة هي التنافس والعداء بين المشتركين. من السهل أن تهزم معارضاً غير خبير وذا خيال محدود: فأنت ـ ببساطة ـ تتابع مساراً للفعل يأخذ المزايا المباشرة لعدم خبرته. لكن افترض أنه يدَّعي التغافل فقط، بينما يدبر مكيدة بارعة تضعك في موقف صعب. لاعبو الشطرنج محدودو الخبرة يخسرون غالباً بجرهم إلى القيام بحركات طائشة وهم يأملون أن منافسهم غافل عن التهديد. النتيجة واضحة: من غير المُجدي الاعتماد على أخطاء أو سلبية أو عدم انتباه من يلعب ضدك، وعليك أن تبني استراتيجيتك على فرض أنه ماهر وحريص ومصصم على النصر بحماس مثلك.

إن الموقف الذي يمكن أن تطبق فيه **نظرية الألعاب** بسيط إلى حدٍ خيالي حقاً. تتطلب اللعبة لاعبيْن ذوي اتجاهيْن متعارضيْن بالضبط. إذا صنعنا رقعة من المربعات الصغيرة كلوحة شطرنج برقم محدد مطبوع على كل مربع، تحدد قواعد اللعبة أن اللاعب A يختار أي صف من المربعات، ويختار اللاعب الثاني B أي عمود. ونتيجة هاتين الحركتين المتخذتيْن سوياً ستكون: الرقم الموجود في تقاطع الصف والعمود اللذين تم اختيارهما. نفترض بالطبع أن كل لاعب يقوم بحركته دون علم اللاعب الآخر بها. فلو كان الرقم المختار رقماً موجباً (+) يكسب اللاعب A، ولو كان سالباً (-) يكسب B. ويكون عدد النقاط الرابحة في كل حالة، مساوياً للقيمة المطلقة للعدد الموجود في المربع. يمثل رسم تخطيطي بسيط كهذا، الغالبية الساحقة لمواقف الصراع التي نواجهها في حياتنا اليومية. فإذا استخدمنا التصفيف الظاهر في الشكل (46) سنرى كيف يعمل مثل هذا النوع من الألعاب.



A \ B	B_1	B_2	B_3	B_4
A_1	-2	-1	4	-3
A_2	3	-2	·3	1
A_3	2	1	2	3
A_4	1	-4	-2	5

شكل (46)

بدراسة الأرقام، يلاحظ اللاعب A بسرعة أن صفه الرابع (A_4) يقدم لـه المكسب الأعلى (5 نقاط). فإذا لعب B عموده الرابع، ولأنه ليس أحمق، فربما يتعامل مع حركة A_4 بالحركة B_2، فيضمن لنفسه أربع نقاط. إن دراسة مشابهة لحركة A_1 - تَعِدُ بنتيجة عالية (4 نقاط) - قد تؤدي إلى عاقبة مؤسفة، بحيث يكسب B في كل رد باستثناء حركة B_3.

يدرك اللاعب A عدم جدوى الحلم بطائرين (على الشجرة)، ويكتفي بالذي في يده، فيبدأ في البحث عن تحرك يضمن له الربح حتى ولو كان ضئيلاً. وتأتي هذه الطريقة المتحفظة بثمرة مباشرة. تكتمل دراسته للصف الكامل، فيرى A أن في متناوله صفاً (A_3)، يعطيه ربحاً أكيداً بغض النظر عن رد فعل اللاعب المضاد. يلاحظ B ذلك، ويدرك أنه سيخسر كل مرة يلعب A فيها الحركة A_3، وليس هناك ما يمكن فعله ما عدا أن يحاول جعل خساراته في أقل حجم ممكن لها بلعب B_2. وهكذا في هذه اللعبة الخاصة، يتأكد أحد اللاعبين من المكسب، ويتأكد الآخر من الخسارة.

بعد هذا التحليل المفصل للعبة، قد يقرر اللاعبان ألا يلعبا، لأن المردود واضح مسبقاً، أو أن اللاعب B قد يعترض على القواعد المرتبة ضده بوضوح. سبب هذه النتيجة هو أن الاستراتيجية الملائمة لكل من اللاعبين استراتيجية نوعية، وتتكون من اللاعب A الذي يقوم بالحركة A_3، واللاعب B الذي يقوم بالحركة B_2 التي تحدد نتيجة اللعبة دون غموض. فتحديد الاستراتيجيات المعقولة في الحقيقة هو القضية الكلية لنظرية الألعاب.

الحالة التي درسناها هي حالة مباشرة، يمتلك فيها كل لاعب أربعة بدائل فقط. لكن افترض أن البدائل كانت أكثر بكثير من أربعة: اعتبر مثلاً رقماً كبيراً من حركات ممكنة للاعب شطرنج خاصة في وسط اللعبة، أو عدد البدائل التي سيضعها المخطط الصناعي في اعتباره حينما يقرر كيف يوزع أعباء العمل بين عدد من المصانع. نستخدم هذه الأيام الحاسوبات عالية السرعة لمراجعة كل مسارات الفعل الممكنة في المواقف المعقدة، ونحدد الاستراتيجية الملائمة. حاسوبات كهذه قادرة على تأدية مئات من آلاف العمليات الحسابية كل ثانية، لكن قبل أن نستطيع إعداد حاسوب للعمـل، علينا أن نحلل الموقف تحليلاً صحيحاً، ونؤلف جدولاً مشابهاً للجدول السابق. وهنا نصل إلى تعقيد جديد، فغالباً ما يكون الموقف الذي علينا أن نتعامل معه - وأياً كان الجهد المبذول - معقداً لدرجة أننـا لا نستطيـع الوصول إلى استراتيجية ملائمة. والمواقف من هذا النوع شائعة جداً في الألعاب. ففي الحقيقة لا تحتوي الغالبية العظمى من الألعاب أي حركة ملائمة كلياً، والسبب في هذا جلي: فلو أن لعبة ما تحتوي حركة ملائمة، فلا ضرورة للعبها أصلاً (كما لاحظ صديقنا B في المثال السابق)، وسيتلاشى أي اهتمام باللعبة بمجرد اكتشاف أن هناك تحركاً أو حركة وحيدة هي الأفضل. ولهذا السبب بالضبط ليست

هناك لعبة تستحق الاهتمام تتضمن حركات جيدة أفضل. وقطعة نقدية عادية يمكن أن تصبح مثالاً لنا.

صورة أم كتابة؟

إن اللعبة التي سنحللها الآن تتطلب لاعبين، كل منهما مسلح بقطعة نقدية. يضع كل منهما قطعته على ظهر كفه. ويختار بحرية واستقلال عن اختيار اللاعب الآخر، سواء أن يظهر الصورة أو الكتابة. يغطي اللاعبان قطعتيهما ويقارنان النتائج، فإن أظهرت القطعتان الوجه ذاته (الاثنتان صورة أو كتابة)، فإن اللاعب A يكسب، ويعطيه اللاعب B نقطة واحدة. وإن أظهرتا الوجهين المختلفين (إحداهما صورة والأخرى كتابة) يكسب اللاعب B، ويأخذ نقطة من A. تبدو اللعبة إذاً بسيطة للغاية. يظهر الجدول (شكل 47) اختيارين محتملين لكل لاعب، لكن كما سنرى فإن البساطة هنا خادعة، فلو كان التقاط الاستراتيجية الصحيحة في اللعبة السابقة سهلاً كما أوضحنا، فإن على اللاعبين في هذه اللعبة أن يقوما ببعض التفكير.

A \ B	صورة	كتابة
صورة	1	-1
كتابة	-1	1

شكل (47)

افترض أن اللاعب A يقرر أن يطبق استراتيجية معيّنة. مثال: صورة ـ صورة ـ كتابة، صورة ـ صورة ـ كتابة... إلخ، يتضح أنه بمجرد أن يلاحظ B هذا النموذج، فإنه سيطبق استراتيجية مضادة مباشرةً. أي: كتابة ـ كتابة ـ صورة.. إلخ وسيربح B بالتأكيد.

لو استخدم A استراتيجية أكثر تعقيداً، ستكون أكثر صعوبة لـ B في اكتشافها. لكن بمجرد أن ينجح في كشفها سيبدأ في الربح مرة أخرى. في الوقت ذاته، وبينما هو يحاول اكتشاف نموذج A، سيشغل وقته باختيار تحركات لن تنتج مزايا محددة، ويحاول فقط ألا يخسر باستمرار. عند هذا الحد، يحتاج B فقط أن يتأكد أن تحركاته عشوائية عندما يرمي قطعته النقدية في الهواء، وأن تتكفل المصادفة باختيارها، ستكون خسائره وأرباحه إذاً عشوائية، وستلغي بعضها البعض في المتوسط. عليه أن يهتم في الوقت نفسه بدقة بلعبة خصمه لكي يكتشف استراتيجيته. وبمجرد أن يحدد B استراتيجية اللاعب A، سيستطيع مباشرة أن يصوغ استراتيجيته المضادة ويمضي آنئذ في الكسب طول الوقت.

إذاً، بتطبيق استراتيجية نوعية ـ أو كما نقول ـ استراتيجية محددة قطعية، يلعب اللاعب A دائماً، وينهي لعبته بأسوأها، بينما ينشغل B في فك رموز لعبته ويستمر A في الكسب والخسارة بقيم متساوية، لكن بمجرد أن يكتشفها B، فإنّ A سيخسر فقط. لكن لماذا؟ ولماذا هي كذلك؟ لماذا على اللاعب A أن يخسر طول الوقت؟! من المؤكد أن كلا اللاعبين يمتلكان فرصاً متساوية. أليس كذلك؟

المسألة أن A حاول أن يتأكد من النصر بتطبيق استراتيجية محددة، ولعب طبقاً لقاعدة نوعية دقيقة، عرف B أن يتعامل معها. قبل اكتشاف B لقاعدة لعب A كانت لهما الحظوظ ذاتها، لكن بمجرد اكتشاف قاعدة اللعبة فقدها اللاعب A.

غالباً ما قد يحاول A تغيير استراتيجيته مجبراً B على إنفاق وقت طويل للعمل على النموذج. وهذا لن يساعده، فالموقف بالضرورة هو نفسه كما في السابق: بينما يستثمر B وقته في ملاحظة A، فإن كلاً من اللاعبين له الحظوظ المتكافئة نفسها، لكنه يصبح رابحاً مؤكداً مرة أخرى بمجرد أن يكتشف نموذج اللعب.

ربما لاحظ القارىء أن هناك فترات في هذه اللعبة كان للاعبين الحظوظ نفسها، ويحدث هذا عندما يكون الربح أو الخسارة متوقفاً على الحركات العشوائية كلياً. ومن الغريب كما يظهر للمراقب الطارىء، أنَّ الاستراتيجية المتكونة من حركات عشوائية كلية هي أفضل الاستراتيجيات «المعقولة» للاعبيْن في هذا الموقف المحدد.

يعاقب اللاعب A بهزيمة نوعية، لسبب واضح هو أنه بمحاولته استخدام استراتيجية معينة، طبَّق عملاً أو إجراءً غير ملائم. إن الإجراء الأفضل في هذه اللعبة يتطلب استراتيجية تعتمد ببساطة وبنقاء على المصادفة. فعلى الرغم من أنها لن تؤكد الانتصار، إلا أنها لا تتضمن هزيمة محددة، لأن الخصم لن يكون قادراً على كشف التحرك التالي بفضل الاستراتيجية العشوائية. ولهذا، في مواقف الصراع، يعمل عنصر المصادفة غالباً كنوع من حاجز الدخان الذي يُخل برؤية العدو ويشل محاولاته لفعل قصدي مضاد.

اللعب على الأسرار:

يقدم فك رموز الشيفرات السرية مثالاً جيداً عن عينة من مواقف الصراع التي نتحدث عنها. الوضع هنا هو نفسه بالضبط كما في اللعبة التي كنا ندرسها منذ قليل. فأي راموز (شيفرة) يمكن تفكيكه لو اكتشفت أي انتظامات بين رموز الرسالة المُشفَّرة، ويعتبر أي راموز مشوش بمثابة حاجز دخان يسمح لطرف بأن يكسب الوقت الذي يضيعه الآخر في محاولة فك رموزه.

مرة أخرى، هناك خصمان في اللعبة: صانع الشيفرة التي تحاول إخفاء معنى الرسالة، والغريم مفكك رموزها الذي يحاول اكتشاف معناها.

قد يبدو لأول وهلة أن هذه اللعبة غير عادلة كثيراً لصانع الراموز (الشيفرة) لأن عليه أن ينقلها - طوعاً أو قسراً Willy - nilly - كرسالة ذات معنى، حيث يستطيع خصمه فك رموزها دائماً. ويستقي مفكك الشيفرة ثقته من قدرته على فعل هذا، من الفرضية المعروفة جيداً في نظرية المعلومات التي تقول: **«يمكن فك شيفرة أي راموز على فرض أنه: (1) ذو طول كاف؛ (2) ذو معنى»**.

صانع الراموز واعٍ أيضاً بهذه الفرضية، ويحاول ترميز الرسالة بطريقة تجبر العدو على إضاعة أكبر وقت ممكن في حل رموزها. وأي وكالة سرية (للاستخبارات مثلاً) وظيفتها نقل الرسائل المهمة، تعمل عادة بهذه الطريقة.

إن الوسيلة الأكثر تأثيراً في ترديد رسالة هي - وبشكل مفارق تماماً - منع الرسالة من الانتقال، ويمكن عمل هذا إما باستخدام شيفرة عشوائية كلياً، أو بنقل مجموعة من الحروف أو الكلمات التي بلا معنى. وتخفي هذه الطريقة المعنى حقاً عن مستقبله المقصود كما بالضبط عن العدو. ولهذا السبب فإن

الراموز العشوائي يستخدم فقط من وقت لآخر مختلطاً بشيفرة ذات معنى. ويخلق هذا الفعل أكبر انزعاج للجانب الآخر. فعندما يواجه مفكك الرموز، رسالة في شيفرة، يكون أول شيء عليه أن يقرره: هل تحتوي تلك الرسالة على أي معنى؟ وفي حالة احتوائها على المعنى: أي جزء منها يحتويه؟ وأي الرموز هي التشويش الذي بلا معنى؟، وهذه في الحقيقة هي أكثر المشاكل المحيرة التي تستدعي وقتاً طويلاً. إنّ فك رموز الأجزاء ذات المعنى لا يأخذ وقتاً طويلاً جداً، لأنها عادة تعالج بواسطة الحاسوب عالي السرعة.

نستطيع أن نخلص إذاً إلى أنه في مواقف الصراع يلعب عنصر من عناصر المصادفة دوراً مقرراً، وهو يشكّل أداة جاهزة لتعطيل نشاط العدو ومنعه من كسب اليد الطولى أو التميز. وهذا ما يجعل إدخال عنصر المصادفة حتمياً في أي موقف، لأن السلوك الجامد يؤدي إلى الهزيمة.

يمكن اكتشاف التطبيق النموذجي جداً لعامل المصادفة هنا في عمليات التوجيه الحربي، حيث تتضمن أي مواجهة بين المتحاربين بحثاً عن السلوك الملائم، وهذا هو الذي يصبح السلوك المعتمد على المصادفة.

في الاقتصاد، هناك سلاسل كلية من المواقف ـ خاصة في حالة وجود المنافسة الرأسمالية ـ التي ينتصر فيها أولئك الذين يطبقون استراتيجية عشوائية.

إنّ الاستخدامات الواسعة للمصادفة في مواقف الصراع، تظهر من الإدراك المتحفظ، ومن الاقتناع الصلب بأن الاستراتيجية العشوائية هي الأكثر ملاءمة، والأكثر قابلية لاتخاذ قرارات مناسبة. أما هؤلاء الذين يرفضون قبول الدور الملائم للمصادفة فهم الخاسرون دائماً وأبداً.

- 4 -

التعلم، المنعكسات الشرطية والمصادفة

سندرس الكائن الحي كما يعيش ويتطور ويتفاعل مع محيطه ويعمل على بيئته. البيئة هي مرضعته وممرضته ومعلمته وصديقته، وهي عدوه وقاضيه. «الإنسان هو ابن الطبيعة الأم والمصادفة الأب» كما كتب ذلك س. ليم S. Lem. فمن الطبيعي أن يتكيف الكائن الحي مع البيئة، لكي يعيش فيها. وهذا يعني أن عليه اكتشاف عادات وتطوير مهارات تجعل حياته أكثر أو أقل تحملاً.

عندما نقترب من عمليات التعلم والتكيف عند الكائنات الحية، فإنما نفعل هذا لا كعلماء وظائف الأعضاء، بل كعلماء تقنية هدفهم تطبيق مبادىء الطبيعة الحية على الآلات الميكانيكية.

من الصعب جداً أن نبني نظاماً آلياً يفي بوظيفة معقدة. فعلى الرغم من أنه ـ مثلاً ـ ليس بالأمر السهل إقامة خط إنتاج سيارة كسيارة «ڤولجا»، سيظل من الأصعب تعديله لإنتاج سيارة «تشايكا»: لأنه علينا أن نبني خط إنتاج جديد كلياً لسيارة أكثر تعقيداً. وبعد سنوات قليلة، عندما تصبح سيارة «تشايكا» قديمة بإحلال تصميم أكثر تقدماً، علينا أن ننشىء خطاً آخر أكثر تعقيداً بكثير من سابقه.

مع هذا قد نستطيع استخدام طريق آخر، وربما نستطيع أن نحقق ذلك بخط إنتاج واحد فقط وذلك ببنائه بطريقة يمكن إعادة تعديلها بسهولة لإنتاج أنماط جديدة من السيارات.

هل هذا خيال مسلٍ ؟! . كلا أبداً. فمن الناحية النظرية يكون مثل هذا الحل ممكناً كلياً. لكن إذا كان ذلك كذلك، فلِمَ لا توجد مثل هذه الخطوط التي يعاد تعديلها؟

السبب هو أنه لا يوجد إنسان في الحاضر يعرف كيف يقيمها. وذلك هو ما يجبر المهندسين ـ للضرورة التقنية المطلقة ـ على دراسة سلوك الكائنات الحية التي تمتلك خواصاً وقدراتٍ أكثر تقدماً ومهارة من أمهر الآلات. فالقدرة على التكيف والتعلم وإعادة التعلم التي تميز الكائنات الحية، يتعين تضمينها في آلات المستقبل كقاعدة أساسية من قواعد تصميمها.

ماذا نعني بالتعلم؟.

للإجابة على هذا السؤال، علينا أن نتعامل مع عدد من المسائل ذات العلاقة، والتي تلعب في كل منها المصادفة ـ وأحياناً ـ دوراً أساسياً. وكما قلنا مسبقاً، فإن التعلم مثله مثل التكيف يحدث نتيجة لتفاعل الكائن الحي مع محيطه، أو كتفاعل تلميذ مع معلمه. ولتحديد العلاقة بين التلميذ والمعلم أثناء عملية التعلم، سنصف أحد أنظمة التعلم الكاملة الموجودة، مثل ما في المجتمع البشري. ونقصد هنا

نظام التعليم المدرسي.

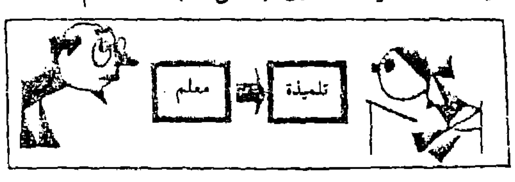
هناك نوع آخر من التعلم يقوم على قدرات المحاكاة لدى التلميذ، حيث يحاول التلميذ أن يضاعف الأفعال الماهرة لمدرِّسه، فيقوم الأخير بتصحيح محاولات التلميذ دون شرح.

وهناك نوع ثالث تقوم فيه البيئة المحيطة بالعملية كلياً، ودون مساعدة أي مدرس خاص، ويمكن أن نطلق على هذا النوع من التعلم «التوجيه الذاتي».

فلندرس الآن كلاً من هذه الأنواع بشكل منفصل.

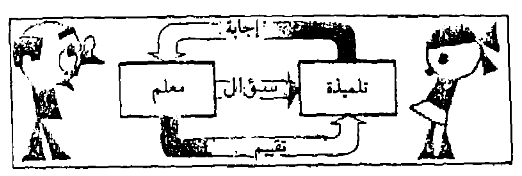
التعليم المدرسي:

يأخذ هذا مرحلتين. أثناء المرحلة الأولى (شكل 48) يمد المعلم التلميذ بالمعلومات الواجب



شكل (48)

تعلمها. يستقبل التلميذ المعلومة. يهضمها. يحفظها ذاكرياً وإلا لن يكون قد تعلم شيئاً. أثناء هذه المرحلة لا يعرف المدرس إن كان التلميذ قد استقبل المعلومة فعلاً أو أنه يدعي ذلك فقط. ومن ثم يجب أن يخضع التعليم الفعَّال للاختبار وتقييم مستوى فهم واستيعاب المعلومة المنقولة إلى التلميذ. ويشكِّل هذا المرحلة الثانية من عملية التعلم، المرسومة في الشكل (49)، حيث يسأل المدرس التلميذ



شكل (49)

سؤالاً للاختبار ليكتشف مدى استيعاب التلميذ للمادة أثناء المرحلة الأولى. يجيب التلميذ إجابة يقيِّم بها المدرس مستوى تعلمه بعد ذلك، ويُعْلِم المدرس تلميذه بالنتيجة، وبإمكانيات فهمه وإدراكه وحفظه السليم.

تنتهي عملية التعلم بكتابة المدرس للنتائج ويعبر عنها بمكافأة التلميذ أو بعقابه. في متناول المدرس عدد كبير من الطرق التي تطورت خلال التاريخ الكلي للتربية والتعليم ليمارس تأثيره الفعال على التلميذ، وغرض هذا التأثير هو تنبيه قدرات التلميذ لاستقبال المعلومات استقبالاً سلبياً.

إن هذه المعالجة لذلك النظام سطحية جداً لأنها لم تطرح أسئلة مثل: كيف يستقبل التلميذ المعلومة وكيف يحفظها؟ وما هي آلية هضمها وتمثلها؟. يجيب على هذه الأسئلة مجال علم النفس التربوي ولن نناقشها هنا. نريد أن نؤكد فقط أن نظام التعلم هذا يفترض مسبقاً وجود قطع أو أجزاء

جاهزة الصنع من المعرفة بالمستطاع نقلها إلى التلميذ يمكن له استخدامها في المستقبل. ولهذا السبب وحده أصبح نظام التعليم المدرسي مطبقاً في كل المدارس والكليات والجامعات.

للتلخيص نقول: لكي يعمل النظام المدرسي ينبغي وجود الآتي بغض النظر عن التلاميذ:

(1) معلمون مؤهلون جيداً في مادة معينة وقادرون على شرحها.

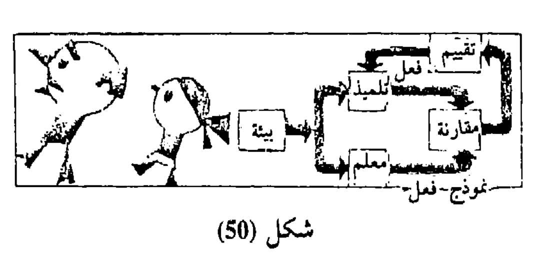
(2) منهجية اختبار وتقييم لتقدم التلاميذ، وهذا هو محتوى التغذية الارتجاعية Feed back في علاقة المعلم - التلميذ.

ولهذا النظام مزايا وعيوب. من المزايا أنه يجعل التلميذ يسيطر على فضاءات محددة في علوم مثل الرياضيات والفيزياء، كما يجعله يتعلم عدداً كبيراً من الحقائق المطلوبة في مواد مثل التاريخ والجغرافيا.. إلخ. ومع هذا، فإنّ النظام المدرسي طريق طويل لا يتناسب مع تعليم كل شيء. فمعرفة قوانين المنطق على سبيل المثال، لا تجعل الإنسان يفكر منطقياً بالضرورة، كما أن تحليل العملية الإبداعية لا يستطيع تعليم الإنسان أن يكون مبدعاً، بالإضافة إلى أن دراسة أصل وخصائص السخرية والدعابة، لا تجعل الإنسان قادراً على التهكم. وهذا النوع من المعرفة الإنسانية يتطلب أنواعاً مختلفة من عمليات التعلم سوف ندعوها: التعلم بالمحاكاة.

افعل كما أفعل:

حيث إن التعليم المدرسي موجود في المجتمع البشري فقط، فإن التعلم بالمحاكاة موجود بشكل واسع ويحدث في كل المملكة الحيوانية.

يحدث التعلم بالمحاكاة كالتالي: المعلم والتلميذ يجدان نفسيهما في موقف محدد. يؤدي كل منهما أفعالاً معينة مستقلة دون الرجوع إلى الآخر. بعد ذلك تقارن عواقب أفعالهما. ينبه المدرس التلميذ إذا اختار موقفاً خاطئاً. في الحقيقة يقول المعلم لتلميذه «افعل كما أفعل» وهذا هو جوهر التعلم بالمحاكاة في شكل (50). توضيح لهذا، يقوم كل من المدرس والتلميذ بالعمل في موقف محدد داخل البيئة. لا



شكل (50)

يستطيع المعلم، أو لا يشرح للتلميذ ماذا سيفعل في الظروف المعطاة لتحقيق أفضل النتائج، لكنه يقدم نموذجاً لتصرف ملائم بدلاً من ذلك. يُقارن بعد هذا تصرف التلميذ بتصرف أستاذه لتصحيح أي خلل.

ما يميز هذا النوع من التوجيه قدرة المدرس على تأدية الفعل الصحيح بنفسه. وسواء عرف أو لم يعرف كيف يقوم به في رأسه، فهذا غير مهم، فالتوجيه يأخذ شكل إبراز السلوك السليم الأكثر حساسية، بدلاً من محاضرة عن كيفية التصرف في حالة ما.

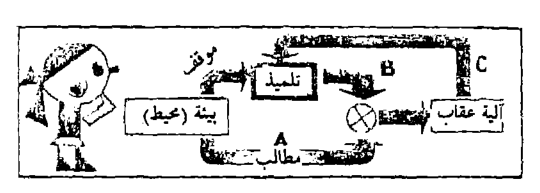
إن منهجية التوجيه الأساسية للتاجر والحرفي هي التعلم بالتوضيح ؛ وتقليد أفضل الأمثلة المتاحة مرحلة أساسية على طريق السيطرة على تجارة أو حرفة محددة. مثال آخر عن هذا تجده في حالة ألعاب القوى، وهو المرآة. المرآة ليست موضوعة لإظهار خيلاء اللاعبين، ولكنها أداة ضرورية للتقييم الذاتي في لحظة القيام بالتمارين. فالمتحمس الرياضي لا يشاهد المباراة الكبرى ليزيد عواطفه تأججاً، وإنما ليلاحظ مثالَ أو نموذج لاعبي الدرجة الأولى لمحاكاتهم فيها بعد. كذلك، ليس الأدب الإبداعي مجرد مادة للتسلية، وإنما يقدّم كمية من الأمثلة عن السلوكيات التي يمكن أن يتعلمها القارىء، فمن المعروف جيداً أن للقراءة تأثيراً هائلاً على تعديل الشخصية: بطل أدبنا المفضل هو بالضرورة مثال لأنفسنا نحاول أن نحذو حذوه.

هذه الوسيلة من وسائل التعلم واسعة الانتشار في المملكة الحيوانية، خاصة بين الطيور والثدييات. محبو الكناري واعون جيداً بهذا، فلكي يجعلوا الطائر الصغير يغرد، يستفيدون من تدريبه بواسطة خبير في هذا الفن. يوضع كل طائر في قفص خاص، ويقلد التلميذ «المايسترو». إن كان التلميذ قادراً، ستُخرِّج المدرسة الصغيرة مغنياً من الدرجة الأولى، لكن إذا كان للمعلم صوت الديك، فإن تلميذه الصغير المثابر سيبدأ في الصياح.

«طيور الريش تحتشد سوياً». يمكن أن تصبح هذه الجملة شعاراً جيداً للتعلم بواسطة الإيضاح.

التعلم الذاتي:

التوجيه الذاتي هو النوع الأكثر شيوعاً لعملية التعلم. إنه بسيط ومبين في الشكل (51).



شكل (51)

فبالتوجيه الذاتي يقوم الوسط المحيط (البيئة) بإنجاز كلٍ من التعلم واختبار النتائج في الوقت ذاته. يتصل التلميذ بالبيئة ويتفاعل معها. كل بيئة لها مميزاتها الخاصة، وتضع مطالبها على كل شيء داخل محيطها. على التلميذ التأقلم مع هذه المطالب. نرى في الشكل كيف تعمل العوامل البيئية على التلميذ عبر القناة A. قد لا يحقق سلوك التلميذ المطالب وقد يحققها، يُعلِم البيئة عن هذا عبر القناة B، وذلك يعني أنه لكي يتعامل مع المواقف المختلفة التي يواجهها، عليه أن يطور نماذج للسلوك تحكمها البيئة.

علينا أن نلاحظ أن القنوات B, A . . . إلخ، تشير إلى علاقات منطقية تربط التلميذ بالبيئة، وتكوِّن نظام تعلم وحيد. ليست هناك بالطبع قنوات محددة بدقة مثل تلك التي في النظام المدرسي، ومع هذا فإن الروابط موجودة وقوية كلياً هنا.

بالنظر إلى الشكل مرة أخرى، نستطيع القول إن البيئة كما كانت تستحث التلميذ نحو سلوك

رمزي معين، فعليه أن يشبع كلياً حاجاتها ومطالبها، وإذا قام بالعمل طبقاً للرموز المطلوبة (يختبر ذلك بمقارنة سلوك التلميذ بالرموز «في الشكل رُمِّز الاختبار كصليب في دائرة») - فإن قناة العقاب C لا تعمل عملها. أما إذا أصبح التلميذ في حالة صراع مع البيئة بعدم تلبية متطلباتها، فإن نوعاً من آلية العقاب ستعمل، وستعلِم التلميذ عبر القناة C بابتعاده عن راموز السلوك الذي تفترضه البيئة مسبقاً.

يعتمد العقاب وشدته - إن حدث - على مدى مخالفة قوانين البيئة. ومن المثير للفضول أن العقاب وبالتالي التعلم هو موضوع مصادفة بهذا القدر أو ذاك. مثلاً لو خرق تلميذ قواعد المرور، فليس من الحتمي أن يتبع ذلك عقاب ما، وإذا خالفها أكثر، سيتفاوت العقاب طبقاً لحظّه. من ناحية أخرى، إن لم يفكر جيداً وقفز من شباك الطابق العاشر، سيكون العقاب حتمياً وشديداً في الوقت نفسه.

وعلى الرغم من عدم وجود إنسان يبين للتلميذ نماذج السلوك الصحيح، إلا أنه يبدأ في التصرف السليم. يسافر التلميذ في هذا الطريق غير المعبَّد للتعلم بنفسه دون أدنى مساعدة، ولكن يتأتى له ذلك بفضل القيود والضربات والقدرات التي تمنحها له البيئة بغزارة.

كما نرى، سيكون التلميذ تحت التوجيه الذاتي، وسيتعلم قسراً من أخطائه. لا قيمة لرغباته هنا. فكلما زادت الأخطاء التي يرتكبها، كلما تعلم أسرع. طريقة التعلم من الأخطاء الذاتية هي الشكل القاعدي للتعلم الموجود في الطبيعة.

علينا أن نشير هنا إلى أن التوجيه الذاتي لا يستبعد أبداً إمكانية التعلم دون عقاب، بل أحياناً ما يقدم التعلم عبر الخبرة الإيجابية نتائج أفضل من تلك التي يحصل عليها من خلال العقاب.

لكن، ما هي القاعدة الفعلية للتعلم؟

يتضح مما رأينا أن الذاكرة تلعب دوراً قائداً في العملية، لكنها وحدها لا تجعل التعلم ممكناً.

كتاب الذاكرة الوجيز:

دعنا نتخيل أننا نعرف شخصاً شارد الذهن، ينسىٰ كل شيء تماماً، لكنه قادر على القراءة وعلى فهم ما يقرأ. ولكي نجعل هذا الإنسان يعيش ويعمل في محيطه، صمم إنسان ما مجموعة تفصيلية من التعليمات وعرّفه كيف يستخدمها. تحدد هذه التوجيهات السلوك الواجب اتباعه إزاء كل موقف ممكن إدراكه في الحياة [افترض أن مثل هذا الشيء ممكن]. صديقنا الشارد الذهن مجهز إذاً بكتاب ذاكرة وجيز يستطيع أن يحمله تحت إبطه. فهل نستطيع القول إن مثل هذا الشخص قادر على حياة طبيعية؟ بالطبع لا. فالحياة تتطلب منه أن يجيب على كثير من الأسئلة في تتابع سريع، وهو لن يكون قادراً على فعل ذلك، فلكي يجد الإجابة عليه أن يبدأ في تصفح كل التعليمات في كتابه الوجيز من البداية. ولن يقوم بخطوة واحدة حتى يتوقف ليقرأ كل التعليمات، ولو لمعرفة كيفية اتخاذ الخطوة التالية فقط.

هدف هذه القصة هو أن الذاكرة المجردة لا تكفي للتعلم ولتطوير سلوك صحيح، لأنه يتعين علينا أن نعرف كيف نستخدم ذاكرتنا: لا تشير القدرة على استخدام الذاكرة إلى طريق بعد الآخر (المقطعية كما تسمى في المراجع التقنية)، وإنما تتكون من القدرة على فتح المقطع الملائم من الذاكرة

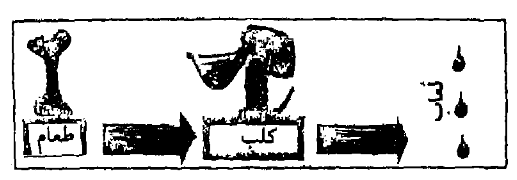
مباشرة، فعندما نعبر الطريق ـ مثلاً ـ علينا أن نتذكر قواعد المرور، لا ماذا تناولنا في غذاء الأمس. لكن كيف نحسب القدرة الواضحة للذاكرة الإنسانية ليس فقط على اختزان وتصفيف كميات كبيرة من المعلومات، بل وعلى الاختيار اللحظي لأي قطاع مطلوب داخل مجال التعليمات التي يحتويها أيضاً.

للإجابة على هذا السؤال، سنتحول إلى موضوع المنعكسات الشرطية.

ما هو المُنْعَكَس الشَرطي؟

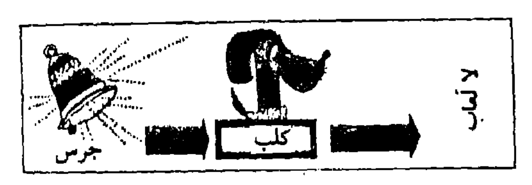
هو رد الفعل التكيفي للكائن تجاه منبه خاص. ويُكتسب هذا التكيف (التعود) من وضع الكائن مكرراً في الموقف نفسه. فعلى سبيل المثال، لا يسمح الإنسان البالغ لجسده بلمس النار بشكل مقصود أبداً، على الرغم من جمالها الأخاذ، بينما يقبض الصغار بتلهف على الأشياء المشتعلة بأيديهم الصغيرة، لأنهم لم يمتلكوا بعد حماية المنعكس الشرطي. ويكتسبون قدرة الابتعاد عن النار بعد أن يجربوا ـ فقط ـ قليلاً من الاحتراقات الشديدة. وتسمى هذه القدرة: المنعكس الشرطي.

هل يتعلم الصغير أي شيء في العملية؟ نعم يتعلم الكثير، ويكتسب آلية حماية تتكون من الخوف من الاحتراق، فيتعلم كيف يبتعد عن النار. مع هذا، يستطيع الكائن الحي تطوير منعكسات شرطية في حالات غير طبيعية إن جاز التعبير: أي يمكن إحداثها على مدى واسع بالوسائل الصناعية. لا شك أن القارىء قد سمع عن تجارب إ. پ. باڤلوف الشهيرة، والتي نجح بها في تطوير منعكسات شرطية اصطناعية عند الحيوانات. كان العمل الذي اتبعه باختصار كالتالي: يوضع الطعام أمام كلب، يبدأ لعابه في السقوط (تنبغي ملاحظة أن إفراز اللعاب في وجود الطعام هو منعكس غير شرطي، وهو خاصية فطرية تنتقل وراثياً). يبين الشكل (52) عمل هذا المنعكس، فالإدخال (الطعام) يعمل على النظام (الكلب) [السهم إلى اليسار]، لإنتاج تيار مباشر من اللعاب والمميز في الشكل كإخراج (اللعاب).



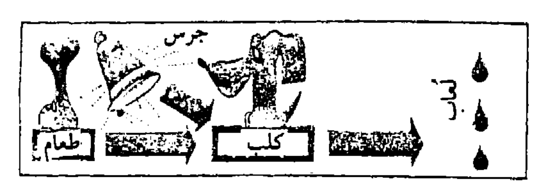
شكل (52)

في بداية التجربة، يفرز الكلب اللعاب في وجود الطعام فقط، بينما لا تنتج أي منبهات أخرى ـ سمعية مثلاً ـ اللعاب (شكل 53).



شكل (53)

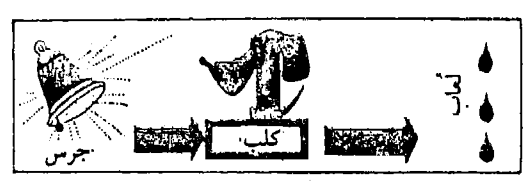
بعد ذلك أضاف باڤلوف إلى منبه الطعام منبهاً سمعياً: جرساً يدق أثناء تقديم الطعام للكلب، أي أن كلا المنبهين (الجرس و الطعام) كانا يقدمان سوياً. وكما هو مبين في الشكل (54) فإن النظام (الكلب)



شكل (54)

يمتلك الآن إدخالين (الطعام والجرس). أحدهما هو بلا شك سبب إخراج اللعاب. أما الإدخال الآخر (الجرس) لا يتسبب بذاته في أي رد فعل داخل النظام كلياً، لكنه يصاحب الإدخال (الطعام)، وهكذا يخرج اللعاب في الوجود الثنائي للمنبهين.

بعد جلسات متعددة من ذلك التنبيه، يبدأ الكلب في التفاعل مع الجرس دون وجود الطعام، بالطريقة ذاتها التي تفاعل بها مع الجرس في وجود الطعام أو مع وجود الطعام فقط: أي إفراز اللعاب. وهكذا فإن المنعكس الشرطي الذي لم يكن الكلب يمتلكه من قبل، قد خُلِق صناعياً (شكل 55).



شكل (55)

فكيف حدث هذا؟

لقد تم بناء رابطة داخل الجهاز العصبي للكلب بين الإشارتين: طعام وجرس، وقد أصبحت هذه الرابطة قوية لدرجة أن أي إشارة يمكن أن تحل محل الأخرى دون أن تتسبب في أي تغيير ولو طفيف في رد فعل الكائن. من الخطأ أن نعتقد أن الكلب قد توقف عن التمييز بين الإشارتين أو أنه بمجرد اهتمام الكلب تندمج الإشارتان لتنبيه إفراز اللعاب، فهذا خطأ بيّن. لقد أقام الكلب ـ ببساطة ـ رابطة بين الإشارتين. الرابطة هي أن الإشارة (الجرس) مصحوبة دائماً بالإشارة(الطعام) التي تتسبب في إفراز اللعاب.

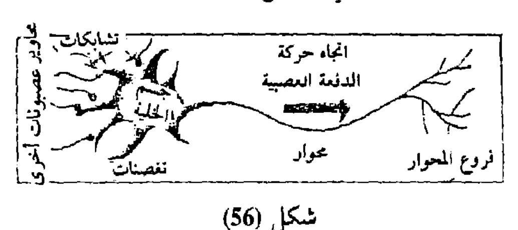
استطاع باڤلوف ـ بدلاً من إشارة الجرس ـ استخدام أي إشارة تنبيه أخرى مميزة تماماً ولا تخيف الكلب مثل الضوء أو الدغدغة. . إلخ، فيحدث المنعكس الشرطي مع هذه المنبهات، على الرغم من اختلاف طبيعتها الأساسية، وتصل إلى الكلب عبر قنواته المختلفة في جهازه العصبي، أي بواسطة حواس مختلفة كالسمع والبصر واللمس. . إلخ، وسوف يفرز الكلب اللعاب مع هذه المنبهات على الرغم من انعدام ارتباطها وظيفياً بالأكل أو بالهضم.

إنَّ أحد العناصر الرئيسية في العملية التعليمية هو تكوين المنعكسات الشرطية التي تربط

الإشارات العصبية المختلفة داخل الكائن الحي، وهكذا تضمن رد فعل مشابه لهذه الإشارات. لكن كيف تتكون هذه المنعكسات الشرطية؟ للإجابة على هذا السؤال، علينا أن ندرس أولاً تركيب الجهاز العصبي.

بنية الجهاز العصبي:

يتكون الجهاز العصبي للكائن الحي من عدد كبير من خلايا متخصصة تسمى العصبونات Neurones (م: عصبون). وكلما كان الكائن أكثر تعقيداً، كلما عظم عدد العصبونات التي يحتويها. فالجهاز العصبي للإنسان مثلاً يحتوي عشرة آلاف مليون عصبون (واحد أمامه عشرة أصفار = 10 بليون). يظهر تركيب العصبون تخطيطياً في الشكل (56).



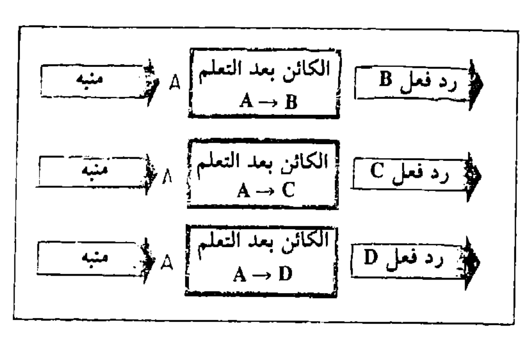
شكل (56)

يتكون العصبون من جسم مركزي تخرج منها أعداد كبيرة من زوائد قصيرة تسمى تغصنات dendrites وخيط طويل ناتىء يسمى المحوار Axon ينتهي بكتلة من فروع تشبه فروع الشجرة.

تسافر الإثارة العصبية من التغصنات عبر جسم الخلية، ثم على طول المحوار إلى الفروع حتى نهاياتها. تكون هذه الفروع قريبة من تغصنات عصبونات أخرى. وعندما يثير منبه عصبي عصبوناً ما، فإنه يمرر الإثارة إلى عصبونات أخرى والتي بدورها تنقلها إلى أخرى. . وهكذا. يتضح أن الاتصال بين العصبونات يحدث في المسافة (الفراغ) بين نهايات محوار أحد العصبونات وتغصنات عصبون آخر. يتضاءل الفراغ عندما تقترب العصبونات من بعضها، ويتكون مفصل تشابك Synapse يربط العصبونين عند هذه النقطة. يشبه هذا التشابك المقاومة في الدارة الكهربية. لو كانت المقاومة عالية، تكون الرابطة بين العصبونات ضعيفة، لهذا فإنَّ إثارة عصبون واحد يمكن ألا تثير عصبوناً آخر، وهذا يعني عدم انتقال الإشارة. أما إذا كانت المقاومة منخفضة عند التشابك، فتنشأ رابطة قوية بين العصبونين، ويمكن إثارة العصبون الثاني بسهولة بواسطة إثارة الأول.

إنَّ الإثارة العصبية تتبع مبدأ «الكل أو العدم» أو «كل شيء أو لا شيء» all or non rule. بكلمات أخرى: إما أن يثار العصبون أو لا يثار على الإطلاق، سواء نقل المنبه العصبي عبر محواره إلى التشابكات أو لم ينقله. فهناك عتبة حساسية للعصبون: لو كانت مقاومة التشابك أكبر من قيمة معينة، لا تنتقل الاستثارة. لكن المقاومة التشابكية يمكن أن تتغير. وقد صاغ د. و. هب Hebb قانون حساب المقاومة التشابكية وهو كالتالي **«إذا استثير عصبونان لهما اتصال تشابكي عام في الوقت نفسه، فإن مقاومة التشابك المثار تنخفض»**. بكلمات أخرى: لو أثير عصبونان متجاوران سوياً عدة مرات لأسباب مختلفة، تقل مقاومة التشابك بينهما، وأحياناً ما تنخفض إلى أقل من قيمة حرجة محددة، وبهذا قد تؤدي استثارة عصبون إلى إثارة الآخر. لشرح هذا نقول: أثناء الاستثارة تتكون مادة مستقرة في المفصل

الشبكي، تقلل المقاومة الشبكية. أحياناً وفي غياب أي إثارة تالية، قد تتحلل هـذه المادة، فينسى التشابك حقيقة الإثارة المتزامنة (التي حدثت في الوقت نفسه). النتيجة هي أن المقاومة الشبكية تعمل كحامل ذاكري داخل الكائن الحي. وتصبح «خلية» الذاكرة البدائية هي التشابك الوحيد. من الطبيعي أن يتحدد اتجاه الدفعات (النبضات) العصبية n. impulses عبر الجهاز العصبي بمقاومة الاتصال الشبكي التي تقابلها تحديداً كلياً. لذا يستطيع منبه واحد أو المنبه ذاته أن ينتج ردود فعل متباينة داخل الكائن الحي عند مقاومات شبكية مختلفة. ويظهر هذا في الشكل (57).

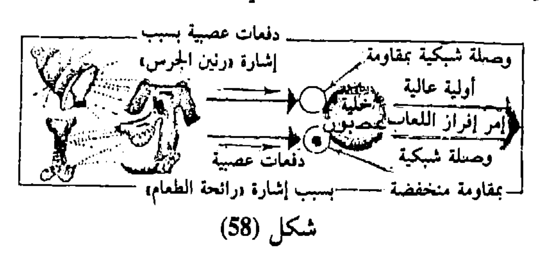


شكل (57)

هنا يُعرَّض الكائن ذاته للمنبّه نفسه في أوقات مختلفة بعد إخضاعه لجلسات تدريب مختلفة. مثلاً: لو قرع جرس فربما يفرز الكلب اللعاب إذا صحب الجرس في الجلسة بالطعام. يمكن أن يثير الجرس نفسه الكلب لدرجة الغضب إذا ضرب بعصا أثناء رنين الجرس، وفي كل من الحالتين يصبح الجرس هو المنبه، لكن بعد جلسة التدريب الثانية يكون رد فعل الكلب نحوه مخالفاً تماماً لرد الفعل الأول، فلسوف يحل محل المزاج المرح اللطيف سلوك غاضب في الثاني.

آلية تكوُّن المنعكسات الشرطية:

نحن الآن في وضعية تسمح لنا بوصف آلية تكون المنعكسات الشرطية، عبر إعادة دراسة الموقف: (الجرس ـ الطعام ـ اللعاب). فالدفعتان (جرس، طعام) تأخذ كل منهما طريقاً خاصاً خلال الجهاز العصبي، وتتقابلان عند عصبون يتحكم في غدة إفراز اللعاب. وحيث إن الحدث / جرس، لا ينتج اللعاب أولاً، فإن المقاومة عند التشابك العصبي Synapse تكون عالية للبدء (شكل 58).



شكل (58)

نتيجة لتكرار الحدوث المتزامن لـ «الطعام» و«الجرس» تنخفض المقاومة طبقاً لمبدأ هِب ويبدأ

عصبيون إسالة اللعاب في الاستثارة بالإشارة «جرس». وبمجرد حدوث ذلك، يعتبر المنعكس الشرطي متكوناً.

نرى من هذا أن تكون المنعكس الشرطي يعتمد على عاملين: **الأول**: هو تكرار الحدوث المتزامن للأحداث المطلوبة لتخفيض المقاومة التشابكية. **الآخر**: هو وجود نقاط تقاطع عامة داخل الجهاز العصبي للكائن الحي، حيث إن الإشارات العصبية التي تمثل حدثين ـ وتشارك بهذا في تكوين المنعكسات الشرطية ـ يمكن أن تتراكب. وحيث إن الحالة الأولى هي ببساطة موقف تعلم مناسب، فإن الثانية تشير إلى أن جهاز الكائنات الحية العصبي يمتلك تركيباً نوعياً محدداً.

من هذا نستطيع أن نرسم نتيجة أساسية هي: لا يقدر كل كائن حي على تطوير منعكسات شرطية من أي نوع خاص. فالقدرة الانعكاسية للجهاز العصبي: أي قدرته على اكتساب المنعكسات الشرطية، وبالتالي قدرته على التعلم، تتحدد أساساً بعدد التشابكات العصبية التي يمتلكها، وبوجود تشابكات نوعية معيّنة. وكلما عَظُم عدد المفاصل التشابكية (الشبكية)، عَظُم عدد المنعكسات الشرطية التي يستطيع الكائن اكتسابها. بكلمات أخرى: تتحسن قدرة الكائن على التكيف مع بيئته، وسيتعلم أفضل، وسيصبح أكثر مهارة.

نرى إذاً أن عدد تلافيف الدماغ ليس هو المهم، إنما المهم هو بنية الدماغ الداخلية. ونستطيع الآن أن نفسر آلية الاستدعاء التلقائية التي تجبر الإنسان على التذكر ـ دون إرادة أو جهد واع ـ تذكر ما نحتاج تذكره بالضبط في موقف محدد في الحياة.

الاستدعاء التلقائي مصحوب بالمنعكس الشرطي بشكل مركب، فعندما يواجه الكائن الحي الموقف نفسه عدة مرات، فإنه يطور سلوكاً انعكاسياً يرتبط بالإشارات العصبية التي تحدد وضعية الكائن في علاقتها برد الفعل السلوكي اللازم. ويقدم تطوير مُنعكَس الخوف وتجنب النار مثالاً رائعاً عن كيف أن الموقف (نار) يُنْتِجُ ـ دون الرجوع إلى الإرادة أو الوعي ـ رد الفعل الانعكاسي للخوف والتجنب.

لا يتطلب التذكر التلقائي أي تفرس في الذاكرة مهما يكن. فكتاب التوجيه الوجيز أو الذاكرة لا يجب أن يشار إليه، لأنها تفتح بذاتها الصفحة السليمة مباشرة، والآلية التي تقوم بهذا يحفزها الموقف الخارجي بنفسه. كل ما على الكائن أن يفعله هو أن يتعامل طبقاً للتوجيهات المطبوعة في الصفحة المحددة في ذاكرته.

قلنا منذ قليل إن تخفيض مقاومة التشابكات مرتبط بالتعلم، لذا من الطبيعي أن نسأل: ماذا تشبه المقاومة الشبكية في كائن حي مولود حديثاً. نحن نستطيع أن نفهم بسهولة أنه لو كانت كل تشابكاته العصبية ذات مقاومة عالية جداً، فسيكون غير قادر على فعل شيء. لن يكون قادراً على التعلم، لأنه لكي يتكون أي منعكس شرطي كلياً، من الضروري وجود قليل من التشابكات العصبية ذات مقاومات أولية منخفضة. لقد وُجد أن الجهاز العصبي للوليد يحتوي عدداً معيناً من التشابكات الفطرية ذات المقاومة المنخفضة الموروثة من الأبوين. وتحدد هذه التشابكات السلوك البسيط للغاية للوليد: مثل قدرته على الابتلاع، وعلى البكاء.. إلخ. وهذه الوظائف معروفة باعتبارها منعكسات

غير شرطية. وتجعل هذه المنعكسات الصغير يوجد ويعيش. ومع الوقت، تتطور وصلات تشـابكية عصبية جديدة ذات مقاومة منخفضة لتكون قاعدة المنعكسات الشرطية للتعقيد المتوالي دائماً.

فرضية البنية العشوائية للدماغ:

أشرنا من قبل إلى أن اكتساب المنعكسات الشرطية مرتبط ببنية الجهاز العصبي، وتتحدد بعدد الروابط بين العصبونات. إن الدراسة التشريحية لهذه الروابط بين آلاف ملايين العصبونات في الجهاز العصبي الإنساني هي مشروع جبار بحق. ومع هذا لم يحدث إلا تقدم محدود في هذا الاتجاه. لقد وُجد أن هناك تنوعاً كبيراً في أطوال العصبونات: بعضها قد يتصل بالأخرى عبر التقارب الشديد فقط، وأخرى تفصلها مسافات كبيرة جداً نسبياً (حتى خمسين سنتيمتراً)، وهناك عصبونات يمكن أن تتصل بعدد قليل فقط من عصبونات أخرى، وهناك التي تتصل بآلاف منها. ويمكن أن تجد داخل الدماغ (المخ) أي شكل أو نموذج من نماذج الترابط الداخلي أكبر بكثير من التي يمكن أن يتخيلها إنسان.

لقد أدت دراسة بنية الدماغ إلى اكتشاف أكثر إثارة: لم يستطع العلماء إيجاد حالة واحدة متشابهة لنماذج الاتصالات بين العصبونات في الأشخاص المختلفين، علاوة على أنه من المعروف الآن أن أشياء مثل القدرة والعبقرية ـ وكذلك ما يخالفها ـ لا تنتقل بالوراثة، وأن تركيب الجهاز العصبي ليس واحداً حتى في العلاقات البيولوجية الأقرب (الآباء ـ الأبناء).

بغض النظر عن هذا، يتضح أن المعلومة الوراثية لا تستطيع أن تحتوي كل تعليمات بلايـين الروابط بين العصبونات داخل الجهاز العصبي المعقد للكائن الحي. فالحاملات الوراثية تنقل فقط قليلاً من الروابط العصبية التي تحدد نمو وتطور الجهاز العصبي على العموم، والدمـاغ خصوصـاً، فالشبكات الفعلية للروابط ما بين العصبونات تتكون في فترة لاحقة، وبشكل عشوائي إلى حد كبير. نتيجة لهذا، يخضع الجهاز الفعلي للشبكات العصبونية التي يمتلكها الفرد للصدفة بالضرورة، وهي بذلك فريدة. الاستثناء الوحيد هنا هو التشابكات التي تكوِّن المنعكسات غير الشرطية، لأنها موروثة.

قد نتبين تبيناً جلياً، أنه من الممكن لعدد قليل من المقاومات التشابكية المكتسبة ـ عبر التكيف الشرطي ـ أن تنقل وراثياً. وهذا ما يجعل النسل الجديد قادراً على الاستفادة إلى حد ما من خبرات الحياة لدى الآباء. وتؤيد التجربة البسيطة التالية هذا الاعتقاد:

القصة هي قصة فئران بيضاء اكتسبت منعكساً شرطياً لجرس يدق. كان الجرس يدق لخمس ثوان كل مرة قبل تقديم الطعام للفئران. في البداية، احتاج المنعكس الشرطي **298** تكراراً من ربط الطعام بالجرس ليتكوّن. أعيد التكييف الشرطي نفسه مع نسل هذه الفئران، فاكتسب هذا الجيل المنعكس الشرطي بعد **114** تكراراً للتجربة فقط. تطلّب الجيل الثالث **29** تكراراً فقط، أما الجيل الرابع فتطلب **11** تكراراً، والخامس **6** تكرارات فقط.

هذا يعني حتى لو أن المنعكس الشرطي نفسه لم يكن لينتقل عبر الوراثة، فإن القدرة على اكتسابه (القابلية) تكون قد حدثت.

إن حقيقة أن بنية الجهاز العصبي عشوائية ذات أهمية قصوى. نعم، يحتاج نقل الصفات إلى الكائن الصغير من أجل البقاء الطبيعي احتياط الآباء من الظروف المجهولة التي يمكن أن تواجهه في

الحياة، لكنها للأسف ليست كلها في متناول أيديهم، وبالتالي من الضروري أن تتضمن بنية الكائن الصغير «عنصر مصادفة» يجعله يتكيف مع الشروط الجديدة غير المتوقعة التي لا يستطيع الآباء معرفتها.

هنا نرى أن العشوائية في بنية الدماغ والجهاز العصبي تزيد القدرة على التكيف لدى الأنواع من جيل لآخر، وتؤكد الإمكانيات اللامحدودة للتطور.

- 5 -
المصادفة والتّعرف

رأينا في الفصل السابق كيف أن التركيب العصبي العشوائي للكائن الحي قادر بالتفاعل مع المحيط على أن يطور منعكسات شرطية تحدد السلوك القصدي له في الوسط المحيط. وهناك علاقة مباشرة بين آلية المنعكسات الشرطية ومشكلة تعرف الكائن على أي موقف يجد نفسه فيه، ويشكِّل حل هذه المسألة خطوة مهمة للغاية في عملية تكيف الكائن الحي مع البيئة.

الإشكالية أنه لا يوجد موقفان متشابهان بالضبط، حتى المحاولة الدءوبة لتكرار شروط التجربة الأولى، ستحتوي دائماً اختلافات فردية تميزها عن أي تجربة أخرى، وسيكون التباين بين المواقف المتشابهة هائلاً تحت تأثير الظروف الطبيعية. كل موقف على الكائن أن يتعامل معه، هو موقف جديد بالضرورة. لكن ـ كما شاهدنا من قبل ـ لكي يتكون منعكس شرطي (بتقليل المقاومة الشبكية إلى المستوى المطلوب)، فإن الموقف الواحد نفسه يجب أن يعاد مرات قليلة على الأقل.

هنا نرى تناقضاً واضحاً: المواقف المتناظرة ضرورية، لكنها غير موجودة. وعلى الرغم من التقريبية التي يكرر بها موقف ما نفسه، فإن المنعكس غالباً ما يظهر. وذلك يشهد بوجود **آلية للتعرف على المواقف داخل الكائن الحي**، وهي الآلية التي تسمح له أن يعتبر المواقف المتشابهة متماثلة، وأن ينظم سلوكه تبعاً لذلك.

أثناء عملية التعرف يُرى الموقف كما هو، وككل دون اعتبار للتفاصيل الصغيرة. بكلمات أخرى يكوِّن الكائن **انطباعاً عاماً** عن الشروط المحيطة به، ويقارن هذا الانطباع بانطباع آخر مختزن في ذاكرته، ومن ثم يتعرف عليه. نتائج عملية التعرف تلك تجعل الكائن يقوم ببناء نموذج متطور للسلوك، بالتكيف الشرطي في موقف مشابه. طبعاً لو وجد الكائن نفسه في موقف ما للمرة الأولى، فعليه أن يطور نموذجاً جديداً للسلوك.

لهذا فإن كل فعل مسبوق بالتعرف. لكن ما معنى التعرف بالضبط؟ حرفياً: التعرف هو عملية تقدير ظواهر (أو صور) معينة في فئات تدعى أشكالاً، أي أن التعرف يتضمن عملية بناء: فكل ظاهرة ما تختص بفئة محددة من الظواهر المشابهة لها بطريقة ما. مثال: عملية توزيع صور الأفراد إلى فئتين (رجال ونساء) هي عملية تعرف، فصورة كل شخص هي الشكل الواجب معرفته بالعودة إلى إحدى الفئتين أو الشكلين.

سيكون التعرف مباشراً إذا أمكن تحديد الملامح التي تأسس عليها، تلك الملامح أو المعالم التي

تجعلنا نقولب الأشياء في فئات. مثلما نستطيع التمييز بين رائد وملازم أول بفحص العلامات على كتفيهما، فالتعرف هنا يعتمد كلياً على هذا المعلم الوحيد.

في الممارسة العملية نواجه ـ طبعاً ـ مشاكل تمييز أو تعرُّف أكبر بكثير من ذلك، حيث تزداد معالم التمييز، والمعالم نفسها قد تكون مجهولة. وفي مواقف كهذه من المستحيل بناء صيغة تعرُّف بسيطة.

رجل أم امرأة؟

سيبين لنا المثالان الآتيان ماذا نعني. **الأول** يتعلق بمشكلة تمييز جنس شخص ما. فانقسام البشر إلى قسمين ـ نساء ورجال ـ عبر الملامح الخارجية، هو مثال من أمثلة التعرف. وتكفي نظرة واحدة لتخبرنا إن كان الشخص رجلاً أم امرأة. لكن كيف نعرف ذلك حقاً؟. إنَّ الإجابة على هذا السؤال الأساسي ليست بهذه السهولة، لذا دعنا نراجع بعضاً من الإجابات الممكنة.

الإجابة الأولى: «يلبس الرجال السراويل، وتلبس النساء التنورات». يمكن إظهار عدم كفاية هذه الإجابة ببساطة، في أن بعض النسوة يفضلن ارتداء السراويل ومع هذا يبقين نساءً، كما أن الرجال الاسكتلنديين يحبون الظهور في تنوراتهم القصيرة التي يسمونها الكيلت Kilt. الشيء نفسه: من الصعب أن تخطىء تمييز رجل من امرأة حتى ولو ارتدت بنطالاً.

الإجابة الثانية: «يقص الرجال شعورهم قصيرة، بينما تطلق النسوة شعورهن». فإن كان هذا معيارنا، ستعتبر أي امرأة بشعر قصير رجلاً، وأي «هيبيز» سيدخل في طائفة «النساء»!!

إذا درسنا معايير قليلة أكثر من هذا النوع، سنصل إلى النتيجة المتناقضة أنه من المستحيل غالباً أن نقرر المميزات الخارجية التي تميز الرجال من النساء. ومع هذا، يستطيع أي إنسان في الممارسة العملية أن يميز بينهما دون أي صعوبة تذكر. فكيف يحدث هذا؟

حاولنا في كل من هذه الإجابات أن نلتقط ملمحاً واحداً حاسماً يميز الرجال من النساء والنساء من الرجال. سيكون السؤال بالطبع أكثر سهولة في الإجابة عليه لو لم يجبرنا عبء الحضارة على ارتداء الملابس. الحضارة تمنعنا من تحديد هذا الملمَح الخارجي الوحيد القاطع. في الحقيقة هناك معالم خارجية عدة متاحة لنا، لكن لا يكفي أحدها لحل المسألة.

سنطرح الآن السؤال العام: كيف يميز الناس الأشكال المرئية؟ مثلاً، كيف يميز المرء الحروف الأبجدية بغض النظر عن أحجامها وهيئاتها وانحناءاتها؟ هل يمكننا صناعة آلة تستطيع القراءة؟

المثال الثاني ليس مثل طباعة الأبجدية تماماً، لكنه مهم أيضاً في حياة الناس اليومية. بل إن المشاكل من هذا المثال كانت مسئولة أساساً عن لفت الانتباه إلى دراسة التعرُّف في المقام الأول. المثال هنا يتعلق بتشخيص الأمراض. فقبل أن يعالج الطبيب مريضاً ما، عليه أن يشخص حالته. ولتنفيذ عملية التعرف تلك يبحث عن بعض المؤشرات الموضوعية المحددة عن حالة المريض الصحية مثل درجة الحرارة وضغط الدم وتخطيط القلب الكهربي.. إلخ. وباستخدام مقاييس الإدخال input هذه، يكون الطبيب قادراً على التعرف على المرض. فكيف يقوم بهذا؟

من الجلي أن الوصول إلى التشخيص يتطلب خبرة عالية، لأن الدلائل الواضحة للحالة المحددة

لا تكون موجودة غالباً. فعندما يقوم الأطباء ذوو الخبرة بالتشخيص في الحالات المعقدة شديدة التداخل، فإنهم لا يستخدمون الوسائل الموجودة في أي مرجع طبي، لكنهم يعتمدون بدلاً من ذلك على الحدس القائم خلف سنوات عديدة من الخبرة في هذا المجال. لكن ما هو الحدس بالضبط؟ وهل من الممكن التعرف على المرض بالوسائل الموضوعية؟ وكيف نصنع جهاز تشخيص؟

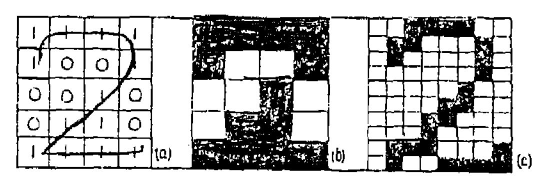
إنَّ هذه الأسئلة في الواقع هي الأسئلة ذاتها التي سألناها فيها يتعلق بمسألة التعرف والتمييز. وقد حلت كلتا المشكلتين في أساسها. فالآلات التي تقرأ والتي تشخص الأمراض موجودة وتعمل. وليس هذا كل شيء، بل اخترعت الآلات التي تستطيع التعرف على الكلمات المنطوقة، بل وحتى الآلات التي تميز الروائح المختلفة. هنا إذاً، وضع المهندسون أنفسهم في رهان مشابَهة أعضاء الحواس للكائنات الحية. لكننا ما زلنا في حاجة لأن نعرف أن آلية التعرف على موقف ما هي في الحقيقة مسألة رغبة. دعنا ندرس مثلاً بسيطاً هو عملية التعرف على الرقم صفر «0».

حيث إن التعرف يتضمن بالضرورة وجود عدد من أشكال أخرى يتم استبعادها أثناء العملية، فسنستخدم العدد «2» لتمثيل هذا الشكل الآخر.

من الصعب جداً أن نخطىء في التمييز بين هذين الرقمين، ومن الصعب أن نخلط أحدهما بالآخر وأياً كانت الطرق التي يكتبان بها. فكيف نفعلها؟. لاختصار الوقت، سنقترح بعض الإجابات على هذا السؤال. ومع هذا، يوجد مسبقاً عدد من الطرق لتمييز الأشكال، وهي طرق تكوِّن القاعدة النظرية لآلات التعرف (أو القراءة).

ترميز صورة:

أول ما علينا فعله هو تكويد (ترميز) الصورة المطلوبة. ونقوم بهذا كما يلي: يوضع الشيء المطلوب تحليله على حاجز شبكي منقسم إلى خلايا. تأخذ أي خلية تحتوي جزءاً من صورة الشيء القيمة «1»، أما التي لا تحس أو لا تحتوي جزءاً منه فتأخذ القيمة صفراً «0». يوضح الشكل «59 a» كيف يكون هذا بالنسبة للرقم «2».



شكل (59)

النتيجة بوضوح هي: صورة مكونة من أصفار وآحاد، وسنحولها إلى رمز رقمي للصورة بكتابة الصفوف الكاملة للحاجز الشبكي بالتوالي:

1111	1001	0010	0110	1111
1	2	3	4	5

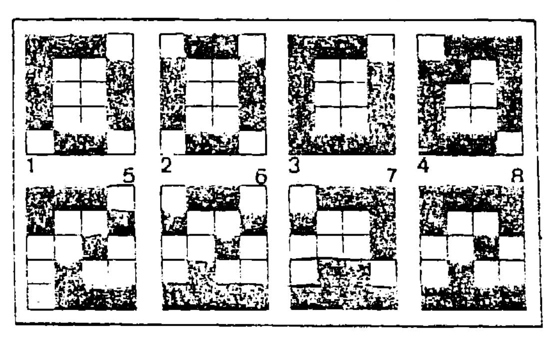
الصفـــوف

سيكون لكل صورة مختلفة راموز، أي شيفرة مختلفة، وسيكون للصور المتماثلة (لا الأشكال) رواميز متماثلة، والعكس بالعكس. ويمكن كتابة شيفرة أي صورة ـ مرسومة عموماً ـ على هذا الحاجز

الخاص على شكل التتابع التالي: a_1 , a_2 , ... a_{20}. حيث إن كل «a» تمثل إما صفراً أو واحداً ومعه عدد مدون أدناه يدل على خلية في الحاجز (شكل 59). هنا نأخذ حاجزاً بعشرين خلية ترمز إلى صورة تقريبية «شكل 59 b» حيث تم تسويد القيم (1). ولكي تُرمِّز (تكوِّد) صورة بدقة أكبر، علينا أن نستخدم حاجزاً خلوياً يحتوي عدداً أكبر من الخلايا. يظهر الشكل «59 c» الصورة نفسها مكوَّدة على حاجز أكثر دقة بالضعف من الحاجز الأول. هكذا يسمح الحاجز الأدق لظهور أكثر دقة للصورة.

كيف تعرف الصفر من الاثنين؟

سندرس الآن مسألة ملموسة تتعلق بالصور من الفئتين: 0 ,2، اللتين يجب تمييزهما. هناك أربعة تمثيلات لكل فئة تظهر بشكل رمزي في (الشكل 60). الشيفرات مكتوبة في الجدول في



شكل (60)

(شكل 61). لتحديد الملامح التي تميز هاتين الفئتين سنفحص الصور وشيفراتها بحرص، لنجد نقاط الاختلاف الآتية:

رقم الخلية

فئة	رقم الصورة / رقم الخلية	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
"0"	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0
	2	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0
	3	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1
	4	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0
"2"	5	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1
	6	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1
	7	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1
	8	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1

شكل (61)

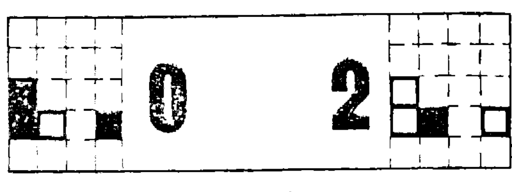
الملامح من 1 إلى 3:

$$a_9 = a_{13} = a_{16} = \begin{cases} 1 & \text{لكل صورة «0»} \\ 0 & \text{لكل صورة «2»} \end{cases}$$

الملمح 4:

$$a_{14} = \begin{cases} 0 & \text{لكل صورة «0»} \\ 1 & \text{لكل صورة «2»} \end{cases}$$

وهذا يعني أن الخلايا 9, 13, 16, 14 تحتوي معلومات مميزة لهذه الفئات، بينما لا تحتوي الخلايا الأخرى ذلك. وحيث إننا مهتمون بالملامح الحاملة للمعلومات فقط، فإننا نستطيع إهمال كل الخلايا الأخرى، والاحتفاظ بهذه الأربع فحسب. وعليه، فإن صور الشكل (60) تأخذ الهيئات المبيّنة في الشكل (62).



شكل (62)

نستطيع الآن أن نرى أن أياً من هذه الملامح يكفي للتمييز بين الصور. ويمكن كتابة قاعدة قرار التعرف على الأصفار والمثاني على هيئة الملمح الأول كالتالي:

لو أن $a_9 = 1$ فإنَّ الصورة تكون 0

لو أن $a_9 = 0$ فإنَّ الصورة تكون 2

أما قواعد قرارات الملامح الثلاثة الأخرى فيمكن صياغتها بالطريقة نفسها بالضبط. وهذه القواعد ستميز بين الصور المطلوبة بدقة كاملة طالما لم يكن هناك تداخل. ففي حالة التداخل، قد توجد أخطاء في تكويد (ترميز) الصور؛ لأن الصدفة قد تُظهر (1) بدلاً من (0) والعكس بالعكس. وعندما يحدث هذا ستأخذ قاعدة القرار - بالطبع - الملامح الأخرى بعين الاعتبار، لكي ترفع من دقة التمييز. ويمكن كتابة القاعدة التي تأخذ الملامح الأربعة في الحسبان كالتالي:

لو أن $a_{14}+a_{16}+a_{13}+a_9 > \delta$ فإن الصورة هي 0

ولو أن $a_{14}+a_{16}+a_{13}+a_9 < \delta$ فإن الصورة هي 2

حيث أن δ هي قيمة العتبة المجهولة (قيمة حدية مجهولة).

هنا نقدم الترميز $\bar{a} = \begin{cases} 1 & \text{لو أن } a = 0 \\ 0 & \text{لو أن } a = 1 \end{cases}$

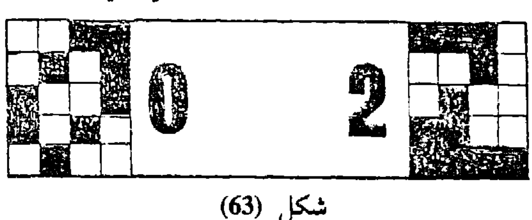
والذي يسمى النفي negation أو القلب inversion. نختار قيمة العتبة أو الحد كالتالي: لو لم يكن هناك تداخل إطلاقاً فإنَّ: $a_{14}+a_{16}+a_{13}+a_9 = \begin{cases} 4 & \text{ل } 0 \\ 0 & \text{ل } 2 \end{cases}$

وإذا كان التداخل موجوداً، فإن المجموع لا بد وأن يقع بين 0 ,4 غالباً. لهذا من الطبيعي أن نعرِّف العتبة بأنها نصف مجموع هذه القيم، لذا ستكون $h = 1/2\,(4+0)=2$. هكذا ستأخذ قاعدة قرارنا الصيغة النهائية التالية:

لو أن $a_{14}+a_{16}+a_{13}+a_{19}$ $\begin{cases} \text{أكبر من 2 فإن الصورة ستكون 0} \\ \text{أصغر من 2 فإن الصورة ستكون 2} \end{cases}$

وستعمل هذه القاعدة دون إجابة خاطئة حتى عندما يشوه التداخل المعلومة المحمولة بواسطة اثنتين من الخلايا الحرجة (لا تلعب حالة الخلايا غير الحاملة للمعلومات أي دور في تمييز الصور كما رأينا).

افترض الآن أننا نحاول استخدام القاعدة المذكورة لتمييز الصور الجديدة التي لم نقابلها سابقاً، فهل يمكن أن نتأكد من نجاحنا؟ بالطبع لا، فأي صورة قد تتشوه جداً لدرجة أن قاعدة القرار لن تعود صالحة للعمل. مع هذا ستكون تلك حالة مصطنعة من غير المحتمل حدوثها في الممارسة العملية، لو تجنبنا محاولة خداع القاعدة خداعاً كبيراً [الطبيعة لا تخدع قصداً، وقد صاغها آينشتين في حكمته الرائعة: «الطبيعة خادعة، لكنها ليست سيئة القصد»] وهي تفي بالهدف نفسه.



شكل (63)

في شكل (63) هناك صورتان جديدتان للصفر (0)، ولـ (2)، ويمكن تمييزهما بسهولة بواسطة قاعدة قرارنا. ويستطيع القارىء أن يرسم صوراً عدة مثل هذه وأن يضع القاعدة لها.

إنَّ حقيقة إمكانية التعرف على صور جديدة مجهولة مسبقاً باستخدام قانون قائم على صور أخرى هي ذات مغزى عميق. ومن الأدلة المؤكدة أن الملامح ـ كمجموعة ملامح مندمجة ـ تميز على أساس صور قليلة فقط، تحتوي معلومات عن كل الفئة. وهذا ما يجعل من الممكن تطبيق قاعدة قرار على مواقف لم نقابلها من قبل. مع ذلك، علينا أن نشير إلى أننا قادرون على استخراج قاعدة قرارنا في هذه الحالة بفضل حقيقة أن الملامح التمييزية كانت مباشرة وتم كشفها بسهولة من دراسة الصور بدقة. لكن ماذا نفعل إذا كانت الصور معقدة لدرجة أن الملاحظة البسيطة لن تجعلنا نستبين ملامحها التمييزية؟ ماذا إذاً؟

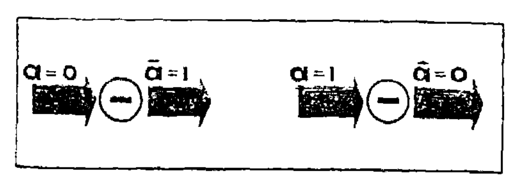
في هذه الحالات، تأتي العمليات المصاحبة للتعلم لمساعدتنا. ولكي نتعامل معها نستخدم آلات تعلُم خاصة مصممة للتعرف على الصور البصرية. وسنرى الآن كيف تعمل مثل هذه الآلات. وسنأخذ مثال المُدرِك (الرائي) perceptron الذي اخترعه العالم الأمريكي فرانك روزنبلات، وقد اشتقت تسمية المُدْرك من الكلمة اللاتينية perceptio وتعني الفهم أو الإدراك.

المُدْرِك:

ولد «المدرك» من محاولات «مماثَلة» عملية الرؤية وتمييز الأشكال البصرية كما تحدث في نظام العين/الدماغ للكائن الحي. للمدرك عينان أيضاً. عينان تستقبلان شكلاً بصرياً، وله أعصاب، ودماغ يتكون من آلة تجري التحليلات وتصنع القرارات.

تعني رؤية شكل ما والتعرف عليه، ربط ظهوره بنموذج إثارة خاص موجود مسبقاً في جزء من أجزاء الدماغ (المخ). عين (أو شاشة) المدرك، مثلها مثل العين البشرية بشبكيّتها التي تتكون من عدد هائل من النبابيت والمخاريط الحساسة للضوء، وتتكون هي أيضاً من عناصر حساسة للضوء، ولهذا السبب تدعى كذلك بالشبكية. تترتب هذه العناصر الحساسة للضوء لتعمل كالتالي: عندما يسقط عليها الضوء تسجل ڤولتية (طاقة إخراج) $[1 = a]$ ، وفي غياب الضوء لا توجد الڤولتية نفسها $(0 = a)$.

يُحول كل عنصر حساس للضوء الضوء إلى كهربية كامنة، كل منها مصحوبة باتجاهين أو حاملين كهربيين Leads، يمر أحدهما عبر جهاز يسمى «المُحوِّل» [عرفنا من قبل ماذا يعني هذا]، فلو أُضيء العنصر الحساس للضوء (a = 1)، فسيسجِّل المحول طاقة إخراج (a = 0)، وإن لم يكن هناك ضوء و a = 0، فإن المحول سيسجل طاقة اخراج (فولتية) a = 1، وسيرمز إلى المحوِّل بشرطة داخل دائرة كما في الشكل (64).

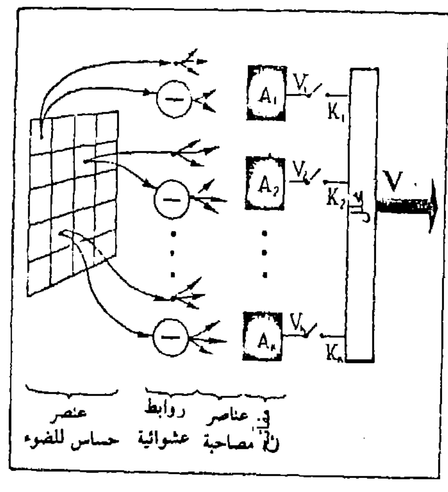


شكل (64)

يحمل الاتجاه الكهربي الآخر المعلومات من العنصر الحساس للضوء عن الحالة الفعلية للخلية. وهذان الاتجاهان (إخراج الخلية وإخراج المحول) ينتهيان بِحزَم من الأسلاك التي تتصل نهاياتها بآلات تعرف بالعناصر المصاحبة أو المشاركة associative elements (A_k ..... A_2, A_1) في شكل (65). وتؤدي هذه العناصر هدفاً بسيطاً هو جمع طاقات الإخراج المتصلة بها بواسطة الحاملات (الاتجاهات الكهربية (سنرى بعد ذلك لماذا تسمى مصاحبة).

إنّ الروابط بين العناصر الحساسة ضوئياً والعناصر المصاحبة غير عادية للغاية: إنها روابط عشوائية وهذه العشوائية يتم إدخالها أثناء عملية بناء حزم الأسلاك. وتلتحم الحاملات الكهربية من العناصر الحساسة للضوء ومن المحلول بالعناصر المصاحبة ببساطة وبطريقة عشوائية تماماً (سيدرك أي إنسان حاول لحم دارات معقدة، مزايا المُدرك). هكذا يتم إدخال عنصر مصادفة في دائرة الرائي (المدرك) بلحم الاتجاهات الكهربية (المستقبلات الكهربية) التحاماً عشوائياً.

تمر طاقة إخراج العناصر المصاحبة إلى مُحلل يترجمها ويقرر الفئة التي تقع تحتها الصورة.



شكل (65)

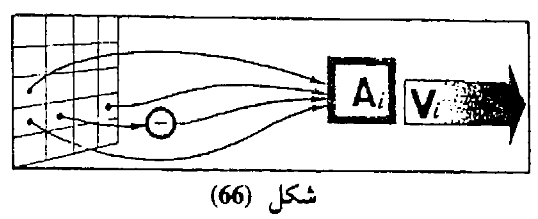
سنرى الآن كيف يعمل المدرك: يسلط ضوء الصور المراد تحليلها - مثلاً 0 ,2 كما في السابق - على شبكية المدرك، وتلاحظ طاقات الإخراج V_1, V_2, V_3 ..... V_k للعناصر المصاحبة. وتكون هذه الطاقات مختلفة عموماً للصور المختلفة. يحدث مصادفة أن إخراج عنصر مصاحب معين (سنرمز له بالرمز V_1) تكون له قيمة واحدة عندما تكون الصورة 2، وأخرى عندما تكون 0. ويحدث ذلك فقط إذا ارتبط العنصر المصاحب ارتباطاً يفي بقاعدة القرار التي ناقشناها سابقاً، بسبب الروابط العشوائية. ويُبيِّن الشكل (66) مجموعة الروابط الضرورية. أما صور الشكل (60) فنتوقع أن:

V_i = { 0 لصورة 2. / 1 لصورة 0. }

لذا سيكون قانون عمل المحلل كما يلي:

لو أن V_i = { أكبر من 2 ، تكون الصورة 0 . / أصغر من 2 ، تكون الصورة 2 . }

لذا على المحلل أن يحتفظ فقط بطريق العنصر المصاحب «i»، وأن يهمل الباقي ببساطة. عموماً، وعلى



شكل (66)

الرغم من أننا لا نستطيع أن نعتمد على المصادفة داخل مجموعة روابط كهذه، فإن احتمالات تكوين مجموعة كتلك أثناء عملية الربط العشوائي هي حوالى واحد لكل مئة مليون. فكيف يخبرنا المدرك إذاً بالـ 0 وبالـ 2؟

الإجابة أن المدرك الذي وصفناه منذ قليل يشبه طفلاً صغيراً له القدرة فقط على أن يتعلم كيف يميز الأشكال المختلفة. لكن ماذا يحدث إذا علّمناه؟ افترض ذلك.

تعليم المُدْرِك:

ماذا يعني تعليم المدرك؟ يعني باختصار تطوير قاعدة قرار للمحلل. فإذا عرفنا المعالم التمييزية بين 0 ,2، سيكون الأمر سهلاً أمامه. لكننا لا نعرف تلك المعالم. إنها تصبح واضحة فقط أثناء عملية التعلم.

افترض أن عملية تعليم «مدرك» تتأسس على الفكرة الآتية: سنختار عناصر مصاحبة بطاقات إخراج أكبر من الـ 0 وأقل من الـ 2، وسيكون العمل كالتالي: نسلط إحدى الصورتين - 2 مثلاً - على شبكية المدرك الحساسة للضوء، وندرس فولتية إخراج العناصر المصاحبة. وطبقاً لقاعدة القرار أعلاه، علينا بعد ذلك أن نفصل العناصر المصاحبة ذات الطاقات العالية عن المحلل بفتح المفاتيح المناسبة. وبالعكس، عندما نسلط 0 على الشاشة، سنفصل عناصر إخراج الحد الأدنى. بعد قليل من الدورات يتضح أن العناصر المصاحبة التي تعطي أعلى طاقة لـ 0، وأقل طاقة لـ 2، هي التي ستبقى في اللعبة.

وبجمع إخراجات هذه المجموعة من العناصر، سنحصل على الكمية Z. إذاً، يمكن كتابة قاعدة القرار كالتالي:

لو أن Z أقل من 0 ، تكون الصورة 2 .
لو أن Z أكبر من 0 ، تكون الصورة 0 .

يستطيع المدرك الآن التمييز بين الشكلين، وقد تتعجب لماذا كان علينا أن نجد مجموع كل طاقات إخراج العناصر المصاحبة: إن العناصر التي ستبقى فقط في الدائرة هي العناصر التي تعطي طاقات إخراج عالية لـ 0، وطاقات منخفضة لـ 2. فماذا هناك إذاً يمنعنا عن استخدام نتائج إحدى هذه العناصر؟

المسألة هي أن أي عنصر مصاحب قد يخطىء في تحديد فئة صورة ما. ومع هذا، من غير المحتمل أن معظمها سيرتكب الخطأ نفسه للصورة نفسها، ولذا فإن كل عنصر يمكن أن يخطىء في «صورته» المحددة. من الجلي أن المجموع الكلي لطاقات إخراج العناصر المصاحبة تعطينا نتيجة تقريبية لهم جميعاً، وحيث يتعرف معظمهم على الصورة تعرفاً سليماً، فإن المدرك لن يرتكب أخطاءً.

يمكننا فهم هذه الخاصية للآلة فهماً أكبر بعرض المثال الموازي الآتي: افترض أن هناك بعض الأطفال البلداء قد تركوا على جزيرة مهجورة. لا يعرف أحدهم جدول الضرب بدقة ولكل منهم أخطاؤه الخاصة، فأحدهم يظن أن ضعف اثنين هو خمسة، ويظن آخر أن حاصل ضرب 3×3=10. . وهكذا، فهل يستطيع هؤلاء أن يؤلفوا جدول ضرب صحيح؟. بالطبع يستطيعون، إذا اقترعوا على كل نتيجة، وطبقوا التي تحصل على أكبر الأصوات.

يعمل المدرك بالطريقة ذاتها بالضبط.

رأينا كيف يميز المدرك الأشكال الهندسية والأرقام والحروف والعلامات الأخرى. كذلك تُصنع الآلات التي تعمل بالمبدأ ذاته. ويمكن تصميمها إما لقراءة الحروف المطبوعة أو كتابة اليد. لكن قبل البدء في العمل على الآلة أن تتعلم، وبعد أن تستوعب دروسها فقط تستطيع قراءة النصوص. وتتبع عملية التعلم نموذج التعليم المدرسي ذاته مع مدرّس (ارجع في ذلك إلى شكل 50).

ينبغي أن نشير إلى أن الآلة التي نصنعها هنا هي بالطبع نسخة مبسطة للغاية من المدرك. ففي الممارسة الفعلية، تكون عملية تعليم المدرك أكثر تعقيداً، خاصة إذا أخذنا في الاعتبار قدرته ـ في النموذج الحديث ـ على التمييز أكثر بكثير من شكلين، ففي إحدى المرات ـ مثلاً ـ علّم الخبراء المدرك كل الحروف الأبجدية الستة والعشرين بسهولة ويسر، فأصبح قادراً على تمييزها في أي مخطوطة.

مما يستحق الذكر أن للمدرك خاصية مميزة في القدرة على التعميم، وتميزه هذه القدرة عن آلات أخرى سيئة الحظ من النوع العام نفسه رغم اتساع مجالاتها وإمكانياتها. وهو لا يميز الصور المتشابهة التي يراها لأول مرة فقط، بل يستطيع أيضاً أن يميز الصور المشوشة السيئة، وهو قادر كذلك على إجراء تعميمات أكثر. ففي إحدى التجارب تم تعليم المدرك التمييز بين الأضلاع الأفقية والرأسية في مستطيل 4×20 سلطت صورته على أجزاء مختلفة من المجال الحساس للضوء، ثم سئل بعد ذلك عن تمييز الأضلاع نفسها في مستطيلات ذات مساحات مختلفة، فتم الحصول على النتائج التالية [النسب المئوية

للتعرف الصحيح]: مستطيل 20×2←78%، مستطيل 20×7←100%، مستطيل 20×15←100%، مستطيل 15×4←93%. يبين ذلك أن المدرك قد تعلم التمييز بين الأضلاع الرأسية والأفقية للمستطيلات عموماً. الأكثر إثارة في هذه العملية هو أنه اكتسب هذه القدرة بعد تعلم التمييز على مستطيل واحد. وهذا يشكل أول خطوة نحو التفكير المجرد.

المُدْرِك كطبيب:

من الأمور المدهشة إمكانية استخدام المدرك كجهاز تشخيص. افترض أننا ربطنا كل خلية من الشاشة الحساسة للضوء بمؤشر خاصة عن حالة المريض. فلو شعر مريض بالألم في منطقة القلب، فإن الخلية 23 ـ مثلاً ـ من الشاشة تضيء ($a_{23}=1$)، أو أن تبقى مظلمة.. إلخ.

يتم إدخال علامات وأعراض حالة المريض على هيئة رموز داخل المدرك. وفي الوقت عينه يشخص طبيب عالي الخبرة الحالة، وعليه أن يقرر بأعلى دقة ممكنة مِمّ يعاني المريض بالضبط، ثم تأخذ الأمراض أرقاماً خاصة: 1, 2, 3... إلخ.

يتعلم المدرك تمييز الأمراض المختلفة بطريقة تعليمه التعرف على الأشكال المرئية، أي باستبعاد أي عناصر مصاحبة تفشل في تمييز الأمراض، ثم تُجمع إخراجات كل العناصر المصاحبة، فيقوم المدرك بتشخيص الحالة. فإذا أدخلنا معلومات عن المريض إلى الآلة، وسجلنا طاقة إخراج أكبر من قيمة العتبة δ، فإن المريض يعاني من المرض رقم 1. وإذا كانت طاقة الإخراج أقل من δ، فإنه يعاني من المرض 2. وبهذا يكون قد تعلم تشخيص الأمراض كما علمه الطبيب بدقة. لكن ليس من الضروري أن يعلّم المدرك طبيب. يمكنه أن يتعلم من المصادر المكتوبة، أن يكون دقيقاً. ومن وصف الأمراض بهذه الطريقة يمكن صنع ذاكرة الآلة لحفظ البيانات Data التي تتعلق بعدد كبير من الأمراض. وسيكون هذا الجهاز قادراً على إنتاج تشخيصات أكثر كفاية حتى من الطبيب الأرفع خبرة.

ما الذي يقود الطبيب إلى التشخيص؟ الإجابة هي خبرته الخاصة، نجاحاته وإخفاقاته، لياليه بلا نوم والتصفيق في قاعات المؤتمرات. وهذا هو المصدر القيم المتاح الذي يميزه عن طبيب مبتدىء. بالإضافة إلى أن الطبيب الخبير يستطيع دائماً استدعاء المخزن العظيم من الحكايات الطبية التي سمعها من زملائه في وقت أو آخر: (أتذكر ذات مرة في «تيومن» أنهم داروا بمريض كان يعاني من....) ويتذكر الاختصاصي كل ما قرأه في المجلات الطبية. وتؤدي هذه المصادر الثلاثة للمعلومات إلى النتيجة ذاتها: التشخيص السليم. وكلما عظمت كمية المعلومات المتاحة، كلما كان التشخيص أكثر دقة. لهذا يتجمع الأطباء سوياً، فيتشاورون عندما تواجههم حالة صعبة، ويقومون بهذا للاستفادة من خبرة عدد كبير من الأطباء.

في عصر السِبرنيتية، تجري هذه الاستشارة بطرق مختلفة وعند مستوى مختلف، لأن آلاف الأطباء يمكن أن يساهموا فيها. وسنرى هنا كيف تعمل.

يتعلم المدرك تشخيص أمراض مختلفة على أساس المادة المسحوبة من حالات محققة جيداً روجعت كلياً، والتي يمكن تجميع عدد كبير جداً منها، لأن المرضى الذين يشكون من المرض ذاته يظهرون الأعراض ذاتها غالباً. وهذا يعني أنه عندما يشخص المدرك المرض فإنه يكون مسلحاً بخبرة

عدد هائل من الأطباء بحيث يجمعهم جميعاً في استشارة واحدة تكون مستحيلة من الناحية الفعلية، بل إنه لا يوحد فقط خبرة هؤلاء الأطباء الأحياء، وإنما يوحد أيضاً خبرة العصور السابقة وفي أماكن مختلفة. لذا فإن تشخصيات الجهاز دقيقة دقة استثنائية.

ومع هذا، وبسبب تعقيد دوائر المدرك عالي التخصص، فإنه يكون في وضع غير عملي. ويمكن أداء كل ما قلناه عن التشخيص ببرنامج رائع من كل الأغراض يقوم به حاسوب عالي السرعة وبذاكرة واسعة. داخل هذه الذاكرة يتم إدخال تواريخ الحالات المرضية.

يوجد نظام تشخيص من هذا النوع مبرمج لتشخيص أمراض القلب في المعهد الطبي للأستاذ ڤشنڤسكي P. P. Wishnevsky في بلادنا، تحتوي ذاكرته وصف أمراض القلب وتاريخ حالاتها التفصيلي، مجموعة من كل ركن في المعمورة تقريباً. وبهذا التبحر الجليل في تنظيمه، يكون الجهاز قادراً على مدّ الأطباء بمساعدة قيمة للغاية في تشخيص مختلف حالات القلب.

لا يقتصر المدرك على التشخيص فقط، لكنه يستطيع أن يصف العلاج أيضاً، وعند ذاك الحد، يحتاج فقط تعلم العلاج الناجح. بكلمات أخرى، ينبغي إعلامه بأعراض المرض وتفاصيل أي علاج جلب شفاءً سريعاً بأقل آثار جانبية ممكنة. وعندما يُدرَّب المدرك على هذا، فإنه لا يقدم التشخيص الصحيح فقط، وإنما سيقدم العلاج الناجع أيضاً.

دور المصادفة في عمل المدرك:

إنَّ الوصلات العشوائية بين العناصر الحساسة للضوء والعناصر المصاحبة في المدرك ذات أهمية قصوى، خاصة في مسألة تمييز الأشكال المعقدة. وتكمن الصعوبة الأساسية مع الأشكال المعقدة في استحالة تحديد أي شيء مسبقاً من ملامحه التمييزية، وبالتالي وجد أننا نربح أكثر ببناء عملية التعرف على مصاحبات عشوائية، واستبعاد أي مصاحِبات لا تميز بين الأشكال.

سيكون من الضروري لأي زوج من الأشكال إيجاد مجموعة من المصاحبات التي تعطي طاقات عالية لصور شكل واحد، وطاقات منخفضة لصور شكل آخر، وهذا هو سبب جعل الروابط بين الشبكية والعناصر المصاحِبة عشوائية. فإذا ضعفت الروابط طبقاً لقانون محدد مسبقاً ـ بدلاً من مجموعة أرقام عشوائية ـ سيكون هناك زوج من الأشكال ـ على الأقل ـ لا يستطيع المدرك أن يميزها. ومن ثَمّ تصبح العشوائية في دوائر المدرك ضمانة القدرة على تمييز أي شكل. وكآلة ذات قدرة على التعلم، يحتل المدرك موقعاً وسطاً بين الأجهزة العادية كالسيارات والراديو.. إلخ. من جانب، وبين الأجهزة البيولوجية للكائنات الحية من جانب آخر. وأدت هذه الخاصية التي تميز المدرك مع صفاته المميزة، بعلماء التقنية إلى أن يركزوا انتباههم على الطبيعة، وكانت النتيجة ولادة علم جديد يعرف باسم: علم الآلات الحيوية Bionics.

علم الآلات الحيوية:

حفَّز التطور السريع للسبرنيتية منذ عام ١٩٤٨ فصاعداً فكرة شمولية عمليات التحكم، وقد أوضح نوربرت واينر أحد مؤسسي السبرنيتية أن للتحكم خواصاً عمومية بغض النظر عن موضوع التحكم آلة كان أم كائناً حياً أم مجتمعاً، وأدت هذه الفكرة الهامة إلى خلق أجهزة التحكم متعددة

الأغراض، وزرعها للتطبيق في مجالات غير متوقعة كلياً من مجالات العمل الإنساني. وتسبب اختراع الحاسوب متعدد الأغراض بإمكانياته الواسعة المؤكدة في ازدهار تطبيقات غير محددة، وفي ثورة ليس في الصناعة فقط، بل وفي التفكير العلمي، ليبدو وكأن الإنسان قد استيقظ فوجد في يديه طائر النار الذي سيساعده على حل معظم المشاكل التي تواجه العلم والتكنولوجيا والاجتماع.

لكن السنين مرت، وبدأ طائر السبرنيتية يفقد ريشه الساطع. فقد كان هناك شيء ما ناقص، والآمال التي بدت في قبضة اليد أصبحت غثاء. وتعنت عصر الروبوت (الإنسان الآلي) والآلات الذكية تعنتاً عنيداً في الظهور. اعتبرت أسباب هذا الرفض المعاند في البداية وكأنها تافهة. الإمكانيات المتاحة كانت غير كافية، ولا تستطيع أن تعمل باستمرار لوقت طويل بآلة دون أن تتطلب إصلاحاً أو إحلالاً، والآلات نفسها تنقصها القدرة على حل المسائل التي تواجهها. كانت هذه المسائل بادىء الأمر قليلة وقد قاومت كل محاولات البرمجة. وبمرور الزمن تحولت هذه التوافه إلى مشاكل حادة أصبحت حاجزاً حقيقياً أمام تطور السبرنيتية اللاحق.

في نهاية الخمسينات اتضح أن السبرنيتية كانت تحتاج إلى أفكار جديدة وتقنيات جديدة. ولم تستطع هذه الأفكار أن تولد مع السبرنيتية نفسها، وكان ينبغي البحث عنها في مكان آخر. تم التشبث بالطبيعة كمنبع للإلهام. فإخوتنا، إخوتنا الأصغر الذين يقفزون ويصرخون بحدة حولنا قادرون - يا للحسرة!! - على حل المشاكل أبعد من قدرات أي حاسوب. فأي شيء أسهل من أفكار الطبيعة الأم، الأفكار الرائعة التي طورتها؟! فالأفكار والتقنيات التي احتاجتها السبرنيتية هي تحت أنوفنا مباشرة طول الوقت في الطبيعة الحية، في الأجهزة البيولوجية التي خلقتها بإمكانياتها وخواصها غير العادية.

هكذا بزغ علم الآلات الحيوية (البيونك Bionics) الجديد إلى الوجود، رافعاً شعاره «من الأنواع الأولية إلى النماذج الهندسية». إذاً يرجع سبب وجود هذا العلم إلى سرقة اختراعات الطبيعة. لكنكم جميعاً ستوافقون - كما أعتقد ودون اعتراض - على هذا النوع الخاص من السرقة.

مرة أخرى، ارتدت السبرنيتية نظارتيها الورديتين، ومرة أخرى بدا أن النهاية كانت في مدى البصر. كانت ببساطة مسألة أن تصبح واعية كلياً بنظام ومبادىء عمل الأنظمة البيولوجية ومفتاح خلق آلات مشابهة تكون جاهزة. وأصبح المهندسون والتقنيون - ذوو الاهتمامات العسكرية خاصة - مأخوذين بمسائل علم الآلات الحيوية، ووصلوا إلى نتائج مشجعة.

مع هذا، أظهر الفحص المدقق لوظائف الأنظمة البيولوجية الحيوية أن المبادىء التي تعمل بها - مع التخفيف - غير مناسبة للتطبيق التقني. فالعصبون الصناعي - مثلاً - المصنوع على صورة العصبون الحي، وجد أنه أقل استعمالاً من محتويات حاسوب معياري موجود مسبقاً. ويمكن ذكر أمثلة أكثر عن «إنجازات الطبيعة»، التي هي مادة لآمال عظيمة لعلم الآلات الحيوية والتي أثبتت عدم جدواها.

الأزمة الأخرى التي ظهرت، هي أن التنظيرات المجردة لعلم الآلات الحيوية أخضعت للدراسة الدقيقة، واتضح أنها جميعاً لا تتناسب مع الفرضيات الأساسية. فلو أمعنت النظر فيها، لأدركت أن الكائن الحي عبارة عن آلة كيميائية معقدة للغاية، وتعمل الأجهزة الحيوية التي اخترعتها الطبيعة على اتحادات بروتينية. كذلك لا تُحمل المعلومات في الكائنات الحية لا بالدفعات الكهربية فحسب، وإنما

بالمواد الكيمياوية أيضاً، وبالتالي فإنَّ أي محاولة لإعادة إنتاج المبادىء الفاعلة للنظم الحيوية عن طريق الدارات الكهربية التقنية ـ كما في علم الآلات الحيوية المعاصر ـ ستؤدي إلى انتهاك هذه المبادىء الأساسية. وهنا يكمن تفسير النجاحات المحدودة جداً لهذا العلم.

كيف نشرح هذه الحالة لعلماء التكنولوجيا المهتمين بعلم الآلات الحيوية المعاصر؟ نحن نتعامل هنا ـ بجلاء ـ مع حالة سيكولوجية فريدة: فأي عالِم يدرس الموضوعات البيولوجية الجديدة، يعرف كلياً أن هذه المشكلة ممكنة الحل (فالطبيعة قد حلتها مسبقاً)، ولهذا لا تؤرقه أية حواجز نفسية عن «الاستحالة». وتمثل هذه الحواجز دائماً تهديداً لعمل العالم، ففي رأسه قلق متواصل من أن المشكلة التي يكرس كل طاقته لها، قد تكون غير قابلة للحل بالفعل، لكن الأنواع الأولية الحية تزيل هذا الحاجز، فبفضلها اخترع «المدرك» كمثال. وطبقاً لفكرة مخترِعه الأصلية، يجب أن يشابه المدرك وظائف الدماغ (المخ). وهو في الحقيقة لم يصل إلى هذا، وإن أثبت بأنه اختراع من الدرجة الأولى، حيث أمدَّ الرياضيين والتقنيين بأفكار جديدة على مدى سنين طويلة.

إذاً، من أين يجب أن يبدأ هذا العلم؟. من المفهوم أن خطوته التالية ينبغي أن تستكشف إمكانيات استخدام الكائنات الحية نفسها، أو أعضاء منها في التكنولوجيا، فالطبيعة تمتلك أدوات رفيعة قابلة للاستعمال وقادرة على التكيف المدهش. إنَّ أي تهاون في استخدامها يعتبر طيشاً كبيراً. فإذا استطعنا أن نكيفها وظيفياً كعناصر آلات حية، مستخدمين الأنظمة البيولوجية نفسها فعلياً، بدلاً من استخدام مبادئها فقط، فنسخرها للعمل لمصلحة الإنسان، سينفتح مجال جديد كلياً من الإمكانيات لتطور السبرنيتية. وسيصبح شعار علم الآلات الحية: «من الكائنات الحية إلى العناصر الحية».

لو مددنا الأمر أبعد من ذلك، فربما نكتشف أننا دخلنا عالم الخيال الذي ارتبط كثيراً بحكايات الخيال العلمي الشائعة. نستطيع أن نتخيل حاسوب المستقبل، حاسوباً غير مصنوع من العناصر الحية بقدر ما أنه يُطور وينمى فعلياً مع الروابط الضرورية، باستخدام نظرية التعلم في «تربية» هذه الآلات. سنأخذ دماغ حيوان مثلاً، وبفرض أننا قادرون على خلق روابط بين «نهايات» الإدخال والإخراج، سنعتمد على قدرة الدماغ الحي لتكوين روابط تقاطعية من نوع المنعكس الشرطي، فنستطيع بذلك أن نعلّمه كيف يحلّ المسائل التي تواجهنا. وهكذا سيكون الشعار الحقيقي لعلم الآلات الحية:

«من الأنواع الحية عبر العناصر الحية إلى الآلات الحية»

- 6 -

المصادفة ، الإنتقاء ، التطور

بمجرد أن اكتشف نوربرت واينر السبرنيتية، حتى بدأ الجدل عمن يكون الأول في هذا المجال، فذكر أوسترو جرادمسكي، وذكر بولزنوف و وات، وكذلك لومنوسوف. وكان واضع هذا الكتاب طرفاً في هذا الجدل، فأرغى وأزبد وأكد أن الأسبقية ليست إلا لكوزما بروتكوف. كوزما بروتكوف الذي قال الكلمات الخالدة: «إذا ربتّ على أنف مهرة، ستهز ذيلها» والتي تعبر بوضوح عن العلاقة الوظيفية بين ضرب أنف المهرة وحركة ذيلها.

تكوّن التحولات المنطقية المشابهة من نوع: (ضرب أنف ـ هز الذيل) أو (ضرب أنف ـ دوران الذيل) قاعدة أجهزة التحكم الحديثة. المحترفون واعون جيداً بهذا، لكنهم يحتفظون بصمت معتدل إزاء علاقتهم العضوية بكوزما بروتكوف الذي سيأتي يوم يُنصفه فيه التاريخ بوصفه الأب الحقيقي للسبرنيتية. لكن ليس من العدل أن نتحدث فقط عن تأثير هذا أو ذاك من الآباء على مولد وتطور علم معين. بل إنه أمر ضروري فعلاً. تشارلز داروين ـ مثلاً ـ مبدع نظرية التطور، كان له تأثير كبير على تطور السبرنيتية الحديثة.

إنَّ المرء لا يتصور أي شيء أكثر طبيعية وتعقيداً من الكائن الحي. لكن ما هي الحياة بالضبط؟ حتى العلم الحديث لا يستطيع تقديم إجابة قطعية، بيد أنه لغرض المناقشة السبرنيتية للحياة، ربما نحدّ أنفسنا بخصائصها الأساسية الثلاث.

الخصائص الثلاث للحياة:

(1) التكاثر: القدرة على إنتاج كائن حي يشبه نفسه.

(2) الوراثة: القدرة على نقل صفات الآباء للأبناء. وهذه الخاصية المحافظة تساعد على ثباتية خواص الآباء في الكائن الحي، ومن السهل أن نتخيل الاضطراب الذي قد يقع إذا لم تكن هذه الثباتية موجودة.

(3) التنوع: القدرة على إظهار التنوعات (الطفرة). وتضمن هذه الخاصية للصغار إشراق الذاتية الفردية، فلا يجعلها نسخة طبق الأصل أو مجرد متوسط حسابي للآباء.

من الصعب المبالغة في تقدير أهمية هذه العوامل الثلاثة في علاقتها بالحياة، فبدون التكاثر ستتوقف الحياة ببساطة عن الوجود. وبدون الوراثة ستتوقف الاستمرارية من جيل لجيل، ولن تنتقل

الخواص النوعية من الآباء للأبناء. وبدون الطفرة ـ أخيراً ـ لن يكون هناك تنوع وتطور للحياة، ولن تتقدم أبعد من حالتها البدائية. إنَّ عنصر المصادفة الضروري للتطور يحدث بالطفرات المسئولة عن التنوع الذي يهبنا الخصائص الذاتية الضرورية القيمة.

ما هي الطفرة؟

تتكون أنسجة الكائن الحي من الخلايا. تشتمل كل خلية على نواة. تحتوي النواة بدورها على الكروموزومات التي هي خيوط أسطونية لا ترى إلا بأكثر المجاهر قوة. تحمل الكروموزومات كل المعلومات الوراثية عن الكائن الحي. تبدأ عملية انقسام الخلية بالكروموزومات. يتضاعف كل كروموزوم ـ كما كان ـ ويكوِّن نصفين متماثلين ينفصلان مباشرة. عندما تنقسم كل الكروموزومات، أي عندما تنقسم النواة، فإن المادة الباقية في الخلية تنقسم، ويكوِّن كل نصف خلية جديدة.

بهذه الطريقة تصبح الخلية الواحدة في البداية خليتين كاملتين متماثلتين، ثم بعد انقسام ثان تصبح أربعاً، فثماني، ثم ست عشرة خلية. . وهكذا.

تجري مضاعفة الكروموزومات بدقة غير عادية: لا يمكن للمرء أن يجد أي شيء في أي مجال من مجالات التكنولوجيا يناظر هذه الآلية التي لا تخطىء مطلقاً. فأثناء تكوين مخلوق جديد تتشكل ملايين الخلايا من خلية واحدة، وكلها تمتلك كروموزومات متماثلة.

مع هذا، لا شيء في عالمنا مطلق: حتى تلك العملية التي بلا أخطاء لها حدود لدقتها. فمن حين لآخر وفي مسافات نادرة ـ ربما مرة من مليون انقسام خلوي ـ يحدث خطأ ما: يظهر خلل ما صدفة في المجموعات الجديدة للكروموزومات، وبالتالي تتغير المعلومات الوراثية التي تحملها تغيراً واضحاً، ويجري هذا عندما تتدخل المصادفة لتؤثر على كروموزوم أو آخر، فتجعله مختلفاً قليلاً (يعيش الكروموزوم أيضاً في عالم من الصدفة)، وتدعى عملية التغير العشوائي في الكروموزومات: **الطفرة**.

عندما يتضاعف كروموزوم جرت عليه الطفرة، فإنه يتكاثر أو يعيد إنتاج نفسه بدقة كما في السابق مكرراً البنية الطفرية، وبالتالي فإن وصية الكروموزوم المتغير ـ وصيته الوراثية ـ تصبح أيضاً طفرية.

ما هي نتيجة حدوث الطفرات إذاً؟ وهل لا تملك ـ ربما ـ تأثيرات عميقة على الكائن الحي؟ وكيف يستطيع تغير طفيف في بنية الكروموزوم أن يؤثر في تطور الكائن ككل؟.

لا شك أن الإجابة على مثل هذه الأسئلة ممكنة، لو عرفنا أن الكروموزم هو بالضرورة نظام من الأوامر التي تصدر أثناء عملية التطور، وتشكل هذه الأوامر الكائن الحي. وبالتالي سيؤثر فقدان أحد هذه الأوامر، أو إحلال أمر بآخر، في تطور الأعضاء الفردية ومن ثم في الكائن ككل. وحيث تحدث الطفرات عشوائياً، فإنها تؤدي إلى ظهور خصائص فردية نوعية في الكائن المتطور. وتتسبب الطفرات في ظهور ملامح أو معالم فردية تميز الكائن الحي عن أبويه وعن الأعضاء الآخرين في جيله الخاص. وبسبب الطبيعة العشوائية للطفرة، ربما تظهر هذه المعالم التمييزية في أي جزء أو وظيفة داخل الكائن الحي.

قد تكون للطفرة نتائج قاتلة لو دمرت وظيفة عضو حيوي أو أنها سحبت منه بعض صفاته

التكيفية، وقد تكون مفيدة لو أدت إلى خواص تجعل الكائن يتكيف تكيفاً أفضل مع بيئته. وقد تكون ـ أخيراً ـ محايدة في تأثيراتها. بكلمات أخرى، قد لا تكون حسنة أو سيئة بالنسبة لحياة الكائن الحي (التغير في شكل الأنف مثلاً).

آلية الانتقاء الطبيعي:

نستطيع الآن أن نقدر بأن كل كائن حي يختلف بطريقة عشوائية عن كل كائن آخر من النوع نفسه. وعندما تحدث الطفرة، تأخذ الطبيعة خطوة مصادفة ـ كما كانت ـ داخل المجهول. بعد ذلك تدرس الحياة هذه الخطوة. فإذا تأثر تطور كائن حي بطفرة صدفية محددة وأثبت أنه أقل ثباتية واستقراراً وأقل تكيفاً مع بيئته، يموت أسرع من الآخرين من النوع ذاته. وترتبط هذه بخطوة مأخوذة في الاتجاه الخاطىء: الفشل. لكن لأن هذا الكائن «الخاطىء» يموت صغيراً، فلن يؤبِّد الخطأ في أنساله، حيث يموت مبكراً جداً قبل التكاثر. وتلك هي القاعدة.

من الناحية الأخرى، إذا حدث أثناء الطفرة واكتسب الكائن صفات تكيفية جديدة، فسيعيش ليتكاثر ويدعم تلك الصفات في ورثته. وهذه ـ كما اكتشف داروين ـ هي بالضبط آلية عمل الانتقاء الطبيعي. بالتالي، إذا اعتبرنا الطفرة تنتج انحرافات عشوائية عن متوسط حالة محددة بين الكائنات الحية تمثل لحظة من لحظات التاريخ التطوري للنوع، فإنَّ الاصطفاء الطبيعي يمكن أن يعتبر تقييماً لنتائج هذه الانحرافات.

يجري التطور الطبيعي طبقاً للمبدأ التالي: الأفضل تكيفاً هم هؤلاء الذين يتكاثرون ويكثرون. وتقدم الطفرات المادة الخام لعمل هذه الصيغة بإنتاج كائنات تظهر درجات كبيرة أو صغيرة من القدرة على التكيف. فإذا لم تكن هناك طفرات، فلن نكون قادرين على أن نلاحظ مهارة البناء داخل الكائن الحي، وذلك التكيف المميز مع البيئة، والذي لن يتوقف أبداً عن إثارة البهجة والإعجاب فينا.

لهذا تمثل الطفرات إحدى القوى العظمى الحافزة للتطور، وطالما أن العملية التطورية هي عملية لا تنتهي، فإن الطفرات تبقى ضرورية للتطور اللاحق للحياة على الأرض. وهـذا هو أحـد وجوه الظاهرة، أما الوجه الآخر فهو أن معظم الطفرات الجديدة مضرة، أو حتى قاتلة للكائن الحي. وسبب ذلك أن كل كائن حي هو نتاج عملية تطور طويلة موغلة في القدم، وهو لهذا متكيف كلياً مع بيئته حتى في أدق التفاصيل. وبالتالي، ليس كل تغير صدفي في بنيته هو تغير مفيد أياً كانت الطريقة وأياً كان شكله. بل العكس هو الصحيح. فلكي نُحسن كائناً عالي التنـظيم، نحتاج إلى طفـرات من نوع خاص. لذا ـ كما قد يتوقع المرء ـ إن الأمر يستدعي مرور وقت طويل قبل ظهور طفرة مرغوب فيها. وقد يحدث أن نوعاً ما قد يموت بينما ينتظر طفرته المطلوبة، ليس بسبب ندرة الطفرة، لكن بالأحرى بسبب غزارة الطفرات غير الضرورية والمؤذية.

قد تكون الطفرات ـ إذاً ـ مؤذية كما هي ضرورية. فالنوع الذي تحدث له طفرات كثيرة متكررة تحت تأثير النشاط الإشعاعي مثلاً ـ قد يتلاشى؛ لأن عديداً من أفراد النوع سيضعفون ويزولون نتيجة طفرات غير ناجحة. من الناحية الأخرى، لن يكون النوع الذي لا يتغير كفاية قادراً على العيش فيما لو تطلبت الظروف المتغيرة قدرات تكيفية جديدة لن تأتي مسبقاً للكائن بسبب نقص التنوع الوافي بين

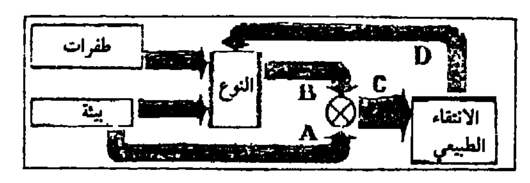
أعضائه، وهذا هو السبب الواضح لانقراض الماموث(*) في الأزمنة القريبة نسبياً، حينها لم يستطع التكيف مع البرودة الفجائية في بيئته أثناء الحقبة الجليدية.

سنطرح الآن موقفاً نادراً، لكنه مع هذا ممكن تماماً: افترض أن هناك نوعاً ما - حيواناً أو نباتاً - يعيش في وفاق كامل مع محيطه دون أي منافسة من أجل الطعام أو الحماية ودون أعداء له في الغالب. أفراد هذا النوع أقوياء، أصحاء، ذوو بنية سليمة. يتكاثرون بسرعة، لكنهم غير مهددين بخطر الانفجار السكاني حالياً. كذلك لا تؤثر الطفرات في النوع إلا تأثيراً طفيفاً، فلا تقلل من الملاءمة الصحية لتكيف هذا النسل السعيد. بعد ذلك، ينتهي العصر الذهبي فجأة، حينها يحدث تغير فجائي مأساوي في الظروف الخارجية، مثل ظهور منافسين أقوياء على المسرح. ساعتها تبدأ الآلية القاسية للانتقاء الطبيعي في العمل مباشرة: سينجو نوعهم فقط في حالة وجود طفرة مساعدة تعينهم على البقاء إن لم تدحر منافسيهم. وإذا جاءت الطفرة المرجوة متأخرة، فإنّ النوع سيتلاشىٰ.

الانتقاء الطبيعي ورسمه التخطيطي:

لا يقصد الكاتب بكل تأكيد أن يروِّع القارىء برسمه هذه الصورة غير السارة عن قوانين الطبيعة القاسية. بكل تأكيد لا.

الحقيقة أن هذا المثال - كما أعتقد - يقدم توضيحاً جيداً للعلاقة بين الطفرة والانتقاء الطبيعي. ونستطيع أن نرسم هذه العلاقة على هيئة شكل تخطيطي يوضح طبيعة تفاعل الكائن والبيئة في عملية الانتقاء الطبيعي (شكل 67).



شكل (67)

يظهر الشكل كيف تعمل البيئة على النوع، وكيف تطلب منه بعض المطالب التي تصاغ عبر القناة A. يطوّر النوع نموذج سلوك محدد في البيئة المعطاة، ليصل عبر القناة B إلى المقارنة مع حاجات البيئة. تنبه نتائج هذه المقارنة آلية الانتقاء الطبيعي عبر القناة C. وتعتمد درجة التنبيه على مدى فشل النوع في تلبية مطالب البيئة. إذا حقق النوع كل مطالبها، ولم يخرّب سلوكه قوانينها، لن يعمل قانون الانتقاء الطبيعي. بيد أن هذه الحالة نادرة. يعمل الانتقاء الطبيعي على النوع عبر القناة D. وفوق كل هذا يخضع النوع خضوعاً متواصلاً للطفرات العشوائية.

يعمل الرسم كالتالي: يتسبب تغير الشروط الخارجية - في البيئة - إما في ظهور تناقض أو زيادة حدته بين سلوك النوع وحاجات البيئة التي يعيش فيها. ينبه هذا التناقض، ويزيد من فعل الانتقاء الطبيعي. وبالتالي فإن الأفراد الأفضل تكيفاً يعيشون ويتناسلون.

(*) حيوان منقرض شبيه بالفيل. (م)

تخلق الطفرات عدداً من الانحرافات عن المتوسط النوعي في أفراد مختلفين. وبسبب الطبيعة العشوائية لمثل هذه الانحرافات، قد يتكيف بعض الأفراد ذوي السمات الجديدة (يمكن تسميتهم بالمتطفرين)، تكيفاً أفضل مع حاجات البيئة أكثر من الآخرين، وقد يشكلون قاعدة نوع جديد، فيما سيندثر الباقون نتيجة للتدخل القاسي لقانون الاصطفاء الطبيعي.

المُثبِّت (خالق الاستتباب): نموذج للانتقاء

في عام 1951 اخترع العالم الإنجليزي ر. آشبي آلة تعمل بطريقة الأنواع الحية في عملية التكيف مع البيئة. وقد سمى هذه الآلة: المثبت Homeostat أو خالق الاستتباب (من Homeostasis الاستتباب: المحافظة على وظائف وخصائص نظام ما في حدود نوعية معينة). والمثبت عبارة عن نظام دينامي إما أن يكون في حالة مستقرة أو غير مستقرة اعتماداً على القيم المحددة في معالمه أو معاييره. ونستخدم مصطلح دينامي لنصف نظاماً يعتمد سلوكه على تاريخه الماضي المباشر. فالحجر على سبيل المثال هو مثال ونموذجي لنظام دينامي: يؤكد قانون العطالة inertia اعتماده على ماضيه القريب، فإذا كان الحجر متحركاً في اتجاه معين، فإن هذا الاتجاه قد يتغير فقط بواسطة قوة محددة ـ قوة الجاذبية مثلاً ـ وسيعتمد الاتجاه الجديد على اتجاه عمل هذه القوة. من هنا يكمن اعتماد الحجر على تاريخه الماضي. من الناحية الأخرى، إذا كان الحجر ساكناً بلا حركة، في غياب أي قوة، فإنه سيستمر في البقعة ذاتها.

نريد الآن أن نميز بين حالتين يمكن أن يوجد فيهما نظام دينامي: الحالة المستقرة غير المتغيرة، والحالة غير المستقرة (حيث تتغير الحركة). إنَّ حجراً يطير عبر الهواء هو مثال على نظام غير مستقر، بينما يشكل حجر راقد على الطريق نظاماً مستقراً. كذلك إذا أخذنا ساعة حائط كمثال، فإن كانت الساعة تعمل، فإنها تكوِّن نظاماً غير مستقر (نظاماً مثاراً إثارة ذاتية)، وإن كانت الساعة مكسورة فإنها تعتبر نظاماً مستقراً.

قد يوجد أي نظام وحيد في عدد من الحالات المستقرة، فبرج تلفزي ملقى على جانبه هو في حالة مستقرة بالضبط كبرج تلفزي منتصب عمودياً (لئن كانت الحالة الأولى أكثر ثباتاً من الثانية، فهذا أمر آخر يفسر لماذا يمكن أن يغير برج واقف وضعه إلى وضعية الاستلقاء على جانبه أثناء هزة أرضية، وكذلك يفسر لماذا لم يرَ أحد قط برجاً راقداً ينتصب فجأة).

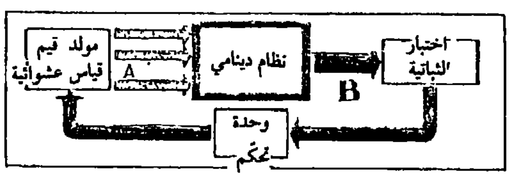
لنعد الآن إلى المثبت (الهوميوستات). يمكن أن يكون كأي نظام دينامي آخر في حالتين: الحالة المستقرة والحالة غير المستقرة. في الأولى يكون بلا حركة وغير متغير، وفي الثانية يتمرد وينتهك سلوكه حدود التمني.

لن نصف بدقة غير المرغوب فيه من المُثبِّت لأنها مجرد تفصيلات تقنية (فهو مجرد جهاز فقط رغم كل شيء). المهم أن إحدى الحالتين مرغوبة (المستقرة) والأخرى غير مطلوبة (غير المستقرة). ويأخذ الانتقال من المستقرة إلى غير المستقرة مكانه تحت تأثير عوامل غير محكومة: التأثيرات البيئية، سوء الإحكام أو سوء التكيف الذاتي داخل الآلة نفسها، بالإضافة إلى عوامل أخرى كثيرة. بكلمات أخرى: بفضل القانون الثاني للديناميكا الحرارية، يميل المثبِّت إلى عدم الاستقرار.

لقد تم إدخال «التغذية الارتجاعية» للتحكم في المثبت. وهي تعمل كما يلي: بمجرد أن يصبح المثبت غير مستقر فإن دواله المعيارية (معالمه/ثوابته Parameters) الداخلية التي تحدد سلوكه تبدأ في التغير عشوائياً: أي تبدأ في عملية بحث عشوائي متواصل حتى يوقف سلوكه المتمرد بالصدفة، ويعود إلى الاستقرار. عندما يحدث هذا، فذلك يعني أن المثّبت قد جازف بضرب قيم ثوابت (معايير) التحكم الضرورية لاستقراره. ومن هنا فإن المثبت سينهي بحثه العشوائي و«ينام» حتى يحدث تغير في البيئة أو سوء إحكام داخلي يجعله في حالة تمرد (اهتياج) مرة أخرى.

هنا يشبه البحث العشوائي الطفرات العشوائية التي تحدث داخل النوع. يستمر البحث حتى يرتد المثّبت بالصدفة إلى قيم معايره ليعود إلى ثباتيته. ويرتبط هذا الحدث بظهور طفرة ضرورية وذلك عند المقارنة. من هنا فإن المعالم الثباتية للمثّبت تستقر، وتتوقف آلية اكتشاف «طفرات جديدة» حتى يصبح - لسبب أو لآخر - غير مستقر مرة ثانية، أي حتى تتغير الظروف الخارجية، وهكذا تتطلب ظهور طفرات جديدة.

إن الرسم التخطيطي للمثبت (خالق الاستتباب) واضح في شكل (68). فكما رأينا من قبل، يمكن لنظام دينامي أن يمتلك معايير مختلفة: تدخل قيمها النظام عبر القناة A، ويتم اختيار هذه القيم عبر مولد أرقام عشوائية تنقل إلى النظام خلال القناة B. فلو كان النظام في حالة غير مستقرة، فإن مجموعة التحكم تفتح مولّد الأرقام العشوائية، لينتج قيم المعايير الثابتة التي يغذي بها النظام، ليراجعها للتأكد من تطابقها. وتستمر هذه العملية حتى يعود النظام إلى الاستقرار ثانية.



شكل (68)

عندما تستقبل مجموعة التحكم معلومات بأن النظام مستقر، تغلق المولّد. لذا فإن القيم الأخيرة لمعايير الثباتية (الاستقرار) يتم الاحتفاظ بها والمحافظة عليها.

نرى إذاً أن مثبت آشبي يمثل نسخة معدلة من آلية التكيف عند الكائنات الحية، ولهذا يعمل كمشابه للانتقاء الطبيعي. لقد رأينا - ونؤكد ثانية - أن الأنواع تتكيف مع بيئتها بالمصادفة كلياً. يأخذ عنصر المصادفة شكل الطفرات التي تنتج انحرافات عشوائية متنوعة عن المتوسط الافتراضي بين أفراد نوع ما. ونتيجة للانتقاء الطبيعي، فإن الأفراد الذين يعانون من طفرات غير ناجحة يموتون، بينما تؤيد الكائنات التي تظهر تغيرات مرجوة، تحسناً في ذريتها. بهذا يصل النوع إلى توازن مستقر مع بيئته، فإذا تغيرت الظروف الخارجية، تبدأ آلية الطفرة بالإضافة إلى الانتقاء الطبيعي بحثاً يستمر ليصل بالكائن إلى الحالة المستقرة مرة أخرى.

يعمل خالق الاستتباب (المثبت/المُتَبِّب) بطريقة مشابهة، فهو يبحث أيضاً عن الاستقرار بعشوائية مطلقة، وفي آخر المطاف يمسك بقيم المعايير الثابتة لحالة الاستقرار. وإن عاكس الظرف

الخارجي استقرار المثبت، تنفتح آلية الانتقاء العشوائي لقيم معايير الاستقرار وتعمل حتى يعاد بناء الاستقرار، فينغلق مرة أخرى بعد ذلك.

المثبت كالقطة النائمة. إذا أزعجت قطة نائمة فإنها تستيقظ ثم تختار مكاناً مريحاً آخر. ترتب نفسها بحيث يلائمها وتنكمش لتنام. بالطريقة ذاتها بالضبط يستيقظ المثبت. ينظر حوله عشوائياً باحثاً عن قيمه المعيارية للاستقرار لتسمح له بحالة ثباتية جديدة، وبمجرد إيجادها تنغلق آلية بحثه العشوائي، وينام مرة أخرى.

مُعَزِّز الفكر والذكاء *Intellect Intensifier*:

إنَّ فكرة البحث العشوائي التي استمدها آشبي من ملاحظاته في الطبيعة ذات أهمية نظرية وعملية كبرى، فلقد أمدته دراسته لدور المصادفة في الطبيعة بفكرة مميزة لاستغلال غناها الهائل. فما هو ـ حقاً ـ أبسط من مولد العشوائية؟!. تشكل الضوضاء مصدراً للمصادفة لا ينتهي، مصدراً يمكن أن تفتحه بيسر دون أن تتكلف في الواقع شيئاً. فنحن لدينا مادة خام متاحة في «الوفرة» أو الإغناء. لكن ماذا نستطيع أن نفعل بهذه المادة أو نستخرج منها؟ الإجابة: إمكانيات هائلة، إن لم يكن كل شيء.

لا يؤدي الدمج الصدفي للحروف إلى أي كلمة معروفة فقط، بل إلى كلمات غير معروفة سابقاً أيضاً، كلمات لم يفكر فيها أحد من قبل. وربما يؤدي اتحاد عشوائي للكلمات إلى أي جملة، بمعنى: تفكير منته عُبِّر عنه سابقاً، أو ما زال ينتظر ذريتنا والأجيال القادمة لتعبر عنه. وقد ينتج اتحاد الجمل بعمل المصادفة عملاً في الفن أو وصفاً لأي تحقيق علمي، أو تقريراً عن أي اكتشاف إنساني الآن أو في المستقبل. عموماً، تخفي المصادفة داخلها احتمالات وإمكانيات لا نهاية لها. عَبْر تجميع الحروف والكلمات والجمل عشوائياً، نستطيع أن نستلخص بيانات جديدة ونتائج جديدة وأفكاراً جديدة. باختصار، نستطيع خلق معلومات جديدة من عمل المادة الخام للمصادفة.

علينا أن نتذكر أن جوناثان سويفت Swift هو أول من عبَّر عن هذه الفكرة وسُخِر منه منذ ما يقارب القرنين ـ [يمكن اعتباره بالمناسبة أحد مكتشفي السبرنيتية المزعومين] ـ عندما عبَّر عن ذلك في روايته المشهورة رحلات جليفر، فعندما وصل جليفر إلى جزيرة لابوتا Laputa المشهورة رأى كيف ابتكر سكانها أعمالاً علمية وفنية جديدة بواسطة آلة تعمل على جميع الاتحادات الممكنة لمجموعة من ألف حرف. وبإعمال العقل أملَ سكان الجزيرة في تركيب كل الأدوات العلمية يقيناً منهم أن أي اكتشاف علمي يمكن إيجاده من ملخص يحتوي ألف حرف. وهو أمل لم يكن دون أساس تماماً. ربما يخدع هذا المشهد المغري الآخرين بسهولة، كما خدع «اللابوتيين» السخفاء، لأنه يدعي أن الإنسان يستطيع أن يدرس العالم كله وهو جالس على كرسيه المريح.

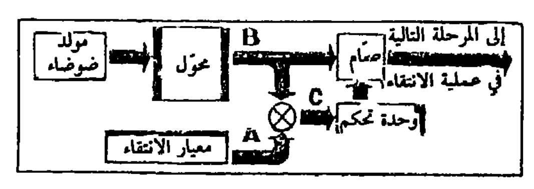
تؤدي هذه الخلاصة المتناقضة إلى القليل عملياً. فعلى الرغم من أن هذه الطريقة سوف تنتج بعض المعلومات الحقيقية، إلا أنها ستنتج كتلة كبيرة من المعلومات الزائفة التي تبدو وكأنها صحيحة. ولا شك أن كمية المعلومات الزائفة ستتجاوز كثيراً كمية المعلومات الحقيقية.

لو افترضنا ـ بالتالي ـ أننا نريد الاستفادة من هذه الفكرة، فعلينا أن نستبعد كل الزائف وكل ما

لا قيمة له. ونستطيع فعل هذا بعملية الانتقاء فقط. وحينما اتبع آشبي خط التفكير هذا وصل إلى فكرة معزز الانتقاء Selection Intensifier، ويعمل كالتالي: يظهر مصدر المصادفة بواسطة جهاز يطبع باستمرار سيلاً من الحروف الأبجدية. يمثل كل حرف مستوى محدداً من الضجيج. يتم اختبار هذا التيار من الحروف إزاء معايير وقواعد محددة. ما يمكن اعتباره كلمات يوضع جانباً للعمل التالي عليه، فكلمة مثل s t r l (س ت ر ل) تُستَبْعَدَ لأنها لا تحتوي حروفاً متحركة (مصوتة). سيلتقط الاختبار التالي من كل هذه الكلمات تلك التي تكوِّن جملاً ذات معنى فقط. بعد ذلك تكون هناك حاجة لأن نحذف أي جملة خاطئة يمكن التعرف عليها، ونُبقي فقط الجمل التي لا تتناقض مع الخبرة البشرية، ثم يتم فصل الأفكار الأصلية من كتلة التوافه التي تمثل أفكاراً معروفة سابقاً، أو أفكاراً يمكن اشتقاقها بسهولة من تلك المعروفة.

المرحلة الأخيرة في عملية الانتقاء هي التي ينبغي أن تتم على أعلى مستوى بمساعدة قواعد التصفية، ويمكن أن يقوم بها الإنسان فقط. غايتها أن تقرر أي من الأفكار الجديدة يجب أن تخضع للتحقق التجريبي الذي دائماً يكون له القول الفصل.

هكذا يتم الحصول على سلسلة من عمليات الانتقاء، تؤدي كل منها معايير انتقاء عديدة. الرسم التخطيطي لـ «معزز التفكير المجرد» كما أسماه آشبي يظهر في الشكل (69).



شكل (69)

هنا يعمل «المحول» على الضوضاء (المصادفة) فينتج عند الإخراج B تياراً عشوائياً من المادة المكونة لموضوع عملية الانتقاء. يعيد المحول تركيب الجمل عشوائياً من المعلومات التي يستقبلها عند الإدخال على هيئة ضجيج أو ضوضاء. كما في السابق، تكون هذه المعلومة بلا معنى. يُقارن ناتج المحول بالمعايير المناسبة عبر القناة B. فإن كان هذا الناتج ملائماً للمعايير، يتم إعلام وحدة التحكم عبر القناة C، وينفتح الصمام ليسمح للمعلومة المنتقاة بالتقدم إلى المرحلة التالية الأكثر تقدماً من مراحل عملية الانتقاء.

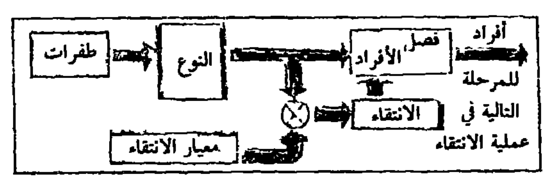
يمكن بهذه الطريقة توليد معلومات كانت غير معروفة كلياً في السابق. نعم قد تستغرق العملية وقتاً طويلاً جداً، لكن لو تم تنفيذ مراحل الانتقاء بسرعة عالية، فإن الوقت المطلوب يمكن تقليله إلى حد كبير.

الانتقاء الاصطناعي كمعزز:

علينا أن نلاحظ أن افتراض آشبي باستخدام الانتقاء المتعدد للحصول هنا على معلومات مجهولة، وذلك بعمل المصادفة، ليس اقتراحاً جديداً، فمربو الحيوانات والنباتات يستخدمون الطريقة نفسها لتطوير أنواع جديدة ومتغيرات جديدة وتعرف الطريقة بالانتقاء الصناعي.

الانتقاء الاصطناعي بسيط بالضرورة، وقد استخدمه الإنسان طويلاً في نشاطاته اليومية. فربما يلاحظ شخص ما أن الكائن قد طوَّر صفة نافعة نتيجة للطفرات العشوائية، فيقرر أن يعززها. في المرحلة الأولى لعملية الانتقاء التالية لذلك، يكون الفيصل هو وجود - أو حتى وعد بوجود - الصفة المطلوبة (الناتجة). أي يتم انتقاء الكائنات التي تمتلك تلك الصفات أو التي تعطي مؤشراً عنها. في المرحلة الثانية يتم انتقاء أنسال الأفراد المنتقين في المرحلة الأولى. يطبق معيار قاس، بحيث إن الأفراد الذين يمتلكون كامل الصفات الجديدة امتلاكاً لا شبهة فيه، هم الذين يُنتقوْن. وهكذا. أخيراً نصل إلى مرحلة يمتلك فيها الأفراد الصفات النافعة التي تطورت بدرجة كافية. يبقى إذاً أن نهلك الكائنات التي لا تمتلك هذه الصفات، ليكون النسل الجديد جاهزاً.

يوضح الشكل (70) الرسم التخطيطي للانتقاء الاصطناعي. هنا تعمل الطفرات على النوع



شكل (70)

لإنتاج أفراد يختلفون عشوائياً عن معايير النوع. يختار المربي الأفراد الذين يظهرون تلك الفروق التي تفي بمعيار الانتقاء، ويتقدم إلى المرحلة التالية في العملية. أما الكائنات التي لا تظهر الفروق المطلوبة فيتم التخلص منها.

يظهر هنا أن مخطط الانتقاء الاصطناعي يشبه كثيراً رسم آشبي التخطيطي لمعزز الانتقاء. إن «مُعزِّز آشبي» هو في الحقيقة نموذج لعملية الانتقاء الاصطناعي.

لنلخِّص هذا الفصل نقول إن علينا التركيز على أن الصدفة والصدفة وحدها هي التي أتمت بكمال الأشكال المعقدة لتكيف الكائنات الحية مع بيئتها كما نشاهد في كل شيء حولنا. بفضل الصدفة وحدها ظهر إلى الوجود ذلك العدد الهائل من الأنواع الحيوانية والنباتية، وبفضل الصدفة وحدها ظهر الإنسان على الأرض. وأصبحت هذه الحقيقة المدهشة للطبيعة مفهومة وجلية بعد أن شرح تشارلز داروين آلية تكوُّن صفات التكيف. وحتى ذلك الحين، كان التفسير الوحيد المقبول ساعتها قائماً على فكرة يؤيدها الدين، وهي فكرة القصدية والغائية وحكمة الطبيعة.

من الواضح الآن أن الطبيعة تفتقر كلياً إلى أي نوع من القصدية والحكمة. ولو أردنا أن نتحدث عن مبدأ «معقول» في الطبيعة، فإنه سيكون المصادفة ولا شك، فالمصادفة وهي تعمل بالتعاون مع الانتقاء تكوِّن «حكمة» الطبيعة وعقلها.

- 7 -
الإحكام الذاتي

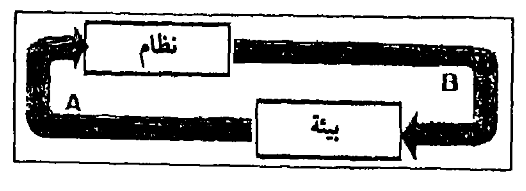
عن العلاقات:

هناك لعبة معروفة جيداً تبدأ بلاعب يسأل: ما هي العلاقة بين... و...؟، وتتم تسمية شيئين مختلفين كلياً، ويطلب منا أن نجد العلاقة بينهما. مثلاً: كيف يؤثر عدد الثقوب في الجبن السويسري في السرعة القصوى لسيارة «موسكوفيتش»؟ أو كيف يؤثر خسوف القمر في مذاق الشاشليك (نوع من اللحم المشوي)؟، وعندما نيأس من الإجابة، يقوم اللاعب الأول بإيجاد العلاقة ويشرحها.

الأمر المسلي في هذا هو أن مثل تلك العلاقات موجودة في الحقيقة: فالسرعة القصوى لسيارة «موسكوفيتش» تعتمد على عدد ثقوب الجبن السويسري، كما أن طعم الشاشليك يتأثر إلى حد ما بخسوف القمر. لكنها روابط ضعيفة، فحتى لو استطعنا تقييمها والتحقق منها، فعلينا ألا نأمل بقدرتنا على استخدامها. ولهذا السبب بالضبط يحاول أصحاب سيارات «موسكوفيتش» أن يهتموا أكثر باستهلاك الوقود (الأوكتان)، وحصص أو نسب الضغط، لا بالثقوب الدقيقة في الجبن. كذلك يكون ذواقة الطعام مهتماً أكثر بكفاية وجدارة الطبّاخ بدلاً من تعقيدات الروزنامة القمرية.

البيئة والموضوع:

عندما نختار موضوعاً لدراسته من بين كم الظواهر المادية التي تحيط بنا، علينا أن نرى روابطه وعلاقاته مع العالم الخارجي، وإلا سيتوقف عن القيام بوظيفته الطبيعية، ولن تؤدي الدراسة إلى النتائج المرجوة. ونعني بالعالم الخارجي البيئة التي يتصل بها الموضوع object اتصالاً مباشراً وقريباً، وبالتالي تشمل البيئة كل شيء يؤثر في سلوك الموضوع دون أن يكوّن جزءاً فعلياً من الموضوع (موضوع التأثر نفسه. فالتآثر interaction بين الموضوع والبيئة يمكن تمثيله بشكل (71).



شكل (71)

يمثل السهم A عمل البيئة على موضوع الدراسة، ويمثل السهم B تأثير الموضوع في البيئة. وباستخدام المصطلح المناسب لنظرية الاتصالات، سندعو A القناة التي تعمل عبرها البيئة على النظام المدروس، فيفرز النظام (الموضوع) تأثيره على البيئة عبر القناة B.

افترض ـ مثلاً ـ أننا اخترنا ميزان حرارة كموضوع للدراسة. تنتقل الحرارة إليه من الخارج عبر القناة A، وتعلمنا القناة B بالمعلومة عن الحرارة بدرجاتها. هكذا تنقل القناة A الحرارة، وتنقل B المعلومة عن درجة حرارة المحيط (الذي يكون الدارس جزءاً منه بالطبع). هناك عوامل أخرى تربط ميزان الحرارة مع بيئته ـ كالجاذبية مثلاً، لكن علاقتها به ضعيفة ولذا نهملها. لنأخذ مثالاً آخر وليكن مخرطة آلية. تستقبل المخرطة عبر القناة A مواد المعالجة سوياً مع الطاقة الكهربية والمزلّق (مادة تليين). وتنتقل عبر القناة B المحتويات المنتهية والاهتزازات إلى البيئة، أو يعلم العالم الخارجي بواسطة الطرطقات أو بالصمت بإنها تعمل أو لا تعمل. وهناك علاقة بين المخرطة وبين أشعة الشمس التي تضيئها، لكنها رابطة ضعيفة بين الموضوع والبيئة، ومن ثم يمكن إهمالها بأمان.

سنأخذ الآن مثالاً من البيولوجيا: يقوم الكائن الحي دائماً بوظائف محددة داخل بيئته، قد تكون البيئة صحراء، غابة، ماء، أو قارورة كيماوية.. إلخ. يستقبل الكائن طعامه وكل المنبهات الخارجية عبر القناة A، بينما يعمل على بيئته من خلال القناة B، فيغير وضعه مع البيئة. وهكذا تتكرر الدورة.

ويمكن ذكر أمثلة مشابهة كثيرة لتوضيح تأثر الموضوع والبيئة. وليست هذه جزءاً من تنظير سخيف عديم الجدوى. إنها تحتوي فكرة عميقة الأهمية. إنها تبني العلاقات الدقيقة القائمة بين موضوعات (كائنات) العالم الحقيقي، وتميز وتعرف بالضرورة الروابط السببية الرئيسية التي نرجو فهمها. علاوة على أنه ما دام لكل نظام خواص فردية مميزة تحدد العلاقة بين إدخاله A وإخراجه B، فإننا نستطيع أن ندرس أي نظام عبر ملاحظة كل من B, A.

تمتلك النظم المختلفة خصائص مختلفة وأنواعاً متباينة من الروابط بين إدخالاتها وإخراجاتها (تغذيتها ومردودها). وغالباً ما يمكن تمثيل تلك الصفات الفردية بمجموعة من الأرقام تسمى عادة المعالم (أو المعايير) Parameters. معالم ميزان الحرارة ـ مثلاً ـ هي كمية الزئبق الذي يحتويه وقطر الشعيرة (الأنبوب الداخلي) والمسافة بين تأشيرات السلم (الميزان). وهذه المعالم الثلاثة سوياً هي التي تحدد العلاقة بين إدخال ميزان الحرارة وإخراجه. فإذا تغير أحدها، فإن العلاقة بين درجة حرارة الزئبق والقراءة على السلم ستتغير أيضاً، وسيعطي ميزان الحرارة نتائج خاطئة.

تُدخل المخرطة المادة الخام في تغذيتها، وتُخرج العناصر المنتهية عند الإخراج. معالم المخرطة هي دورة التقطيع وسرعته وزوايا الميل للأدوات المختلفة، وضعية ومدى تغذية الأدوات، والمواد التي تصنع منها.. إلخ. وهذه المعايير تحدد أبعاد الناتج النهائي وخواصه.

تختار المخرطة قيمها اختياراً عشوائياً في جميع الحالات، فهي تعتمد على المادة الخام وشكل الجزء المنتهي. ويتأثر اختيارها باعتبارات مثل الاعتبارات الاقتصادية، ومتطلبات التشطيب النهائي للعنصر والحاجة لتقليل تآكل الآلة، وعوامل أخرى كثيرة. يتم بناء تصور لمعالم المخرطة مسبقاً، بوضع كل متطلباتها والناتج النهائي في الاعتبار. ولأن هذا ليس موضوعنا، سنأخذ واحداً من هذه المتطلبات فقط

وهو: مميزات الناتج النهائي، وبعد أن نكتفي بإيفاء هذا المتطلب الأساسي فقط، نستطيع أن نهتم بأمور أخرى كتآكل الآلة أو انخفاض قيمة أو سعر المخرطة.. إلخ. لذا سنطلب من المخرطة شيئاً واحداً فقط: أن تخرج أفضل ناتج ممكن. أي أن تنتج ناتجاً يقترب قدر الإمكان من الناتج المثالي الذي خططه المصمم.

قد يُعترض بأنه لا مكان لمحاولة إنتاج عناصر ذات أبعاد دقيقة جداً، إذا تم تحديد التفاوتات أو العيوب التي يمكن قبول المُنتَج في إطارها. من جانب آخر، الكل يعرف أن تدخل المصادفة هو قوة يجب التعامل معها أثناء عملية التصنيع، لذا علينا أن نناضل باستمرار للوصول إلى أبعاد أكثر دقة يمكن تحقيقها، لأنه سيكون أكثر صعوبة بسبب تدخل المصادفة، الوصول إلى أبعاد أرفع من التفاوتات المقبولة، ومن ثم يمكن تقليل النسب المئوية للأجزاء الناقصة إلى حد كبير.

الاقتراب من المثالي:

من الطبيعي، لو أردنا أن نُحكِم مخرطة آلية، فعلينا أن نحدد خاصية إخراجها. لهذا يتطلب الأمر مقدِّراً أو مقوِّماً estimator يستطيع أن يقوِّم المنتج النهائي في قربه من الكمال، حيث سيقيس هذا المقدِّر كيفية عمل المخرطة.

من الحكمة أن ننشيء مقدراً كهذا إنشاءً دقيقاً كلما أمكن ذلك. بكلمات أخرى: يكون مقدراً رقمياً (يمكن قياسه رقمياً). فلأي آلة يكون المقوِّم هو مجموع الفرق بين أبعاد المُنتَج النهائي والأبعاد المحددة في رسم التصميم. فعندما تعمل المخرطة بأقصى إمكانياتها، تكون قيمة مقدر الكيفية صفراً (0)، وهذا يعني أن المثالي أصبح ممكناً الحصول عليه (من الصعب الإشارة إلى أن هذه القيمة لا يمكن أن تحدث أبداً عند الممارسة العملية بسبب استحالة تحقيق الدقة المطلوبة في أبعاد المنتَج). وإذا كان المجموع الكلي للفروق بين الأبعاد الفعلية والمثالية مساوياً لمليمتر واحد - مثلاً - نقول إن «البعد عن المثالي يساوي مليمتراً واحداً».

يمكن استعمال مقدِّر نوعية آخر يقدر نسبة النواتج الناقصة على سبيل المثال. وقد تكون بعض الصفات الإضافية جزءاً من المقدر أحياناً. لكن أياً كانت الحالة، عندما نقرر التعامل مع مقدر محدد، علينا أن نتأكد من أن هناك واحداً فقط، وأن قيمته الدنيا ترتبط بالقيمة المثالية التي نهدف إليها. وعندما يتحدث الناس عن المثالي الذي يريدونه، فإنهم يستخدمون غالباً سلسلة من صيغ التفضيل مثل «الأرخص» أو «الأكثر دقة» أو «الأكثر جمالاً».. إلخ، في محاولة لأن يجمعوا في «المثالي»، كثيراً من الصفات الأكثر جودة، كلما أمكنهم ذلك. ففي اختيار دراجة على سبيل المثال، يلح المستهلك على أن تكون (1) أكثر كفاية (2) أبسط استعمالاً (3) أرخص (4) أكثر جاذبية.. إلخ. مع هذا، وبعد أن فحص عدداً من الآلات، أدرك فجأة بأنه لا توجد دراجة واحدة تفي بكل هذه المطالب في الوقت نفسه (تفترض كل هذه افتراضاً مسبقاً أن للمستهلك الخيار بالطبع، فإذا لم يكن أمامه خيار، لن تزعجه شكوك من هذا النوع).

هذا شكل من أشكال المواقف «غير المحظوظة». فإذا كنت تتذكر مسرحية جوجول الزفاف عندما وجدت العروس أجافيا نفسها في موقف كان عليها فيه أن تختار واحداً من أربعة يطلبونها

للزواج، قررت ألا تستعمل معياراً واحداً لتحديد الزوج المثالي، فحاولت تطبيق عدد من المعايير في الوقت نفسه، فأدى بها هذا إلى حالة من الأسى والشك.

ـ يا عزيزي. من الصعب جداً اتخاذ قرار.

انتحبت أچافيا تيخونوڤا: «ـ لو كان هناك واحد أو اثنان فقط، لكنهم أربعة. فماذا أفعل؟!. نيكانور إيڤانوڤيتش أنيق لكنه رقيق العود بالطبع. إيڤان كوزميتش أنيق أيضاً. لأكون صادقة وأمينة كلياً عليّ أن اعترف بأن إيڤان باڤلوڤيتش سمين بعض الشيء لكنه لطيف. فكيف أقرر؟ أسألك؟ بالتازار بالتازاروڤيتش هو أيضاً رجل جيد. من الصعب جداً اتخاذ قرار، لا أستطيع ببساطة أن أخبرك باستحالته».

هنا أوضحت أچافيا مفهومها للجمال فقالت: «لو أخذت شفتي نيكانور ووضعتهما مع أنف كوزميتش، وأضفت شيئاً من طريقة بالتازار السهلة البسيطة في التعامل، وربما قليلاً من مهابة باڤلوڤيتش، فإنني قد أقول «نعم» مباشرة».

أترى الآن أي وضع صعب وجدت عروسنا نفسها فيه بسبب مطالبها المتنوعة. لكن لو كان من الممكن ـ جدلاً ـ أن ندمج أنف رجل واحد مع شفتي آخر، فإنه سيكون من الحمق والطيش حتى محاولة دمج التكلفة الدنيا مع ميزة قصوى للمادة نفسها. فهاتان غير متوافقتين، لأن كلاً منهما تستبعد الأخرى بالتبادل. فهل يعني هذا أننا لن نفوز بنوعية نرجوها؟ أو إذا حاولنا الحصول على سلعة ما بأرخص سعر ممكن، هل علينا أن نتغاضى عن نوعيتها؟ حسناً لو فعلنا ذلك فإننا ببساطة نضيع وقتنا في جمع النفايات.

يتضح أن علينا أخذ كل شيء في الحسبان لكن بدرجات مختلفة. فإذا ركزنا على النوعية بالأساس، ينبغي أن نحدد التكلفة القصوى المقبولة لنا في حل المشكلة المحددة. أما إذا خرجنا لشراء أرخص ما يمكن فعلينا أن نعرف جيداً نوعية الحد الأدنى المقبولة التي لا نشتري تحتها أي سلعة حتى وإن حصلنا عليها مجاناً.

لهذا عندما نحدد «مقدَّر» النوعية المثالية، يتعين أن نضع في حسابنا الوسائل المتاحة لتحقيق غاياتنا. إنّ المقولة المتعجرفة «الغاية تبرر الوسيلة» مقولة متناقضة، لأن هناك غايات عدة في الحياة، فإن أردنا تحقيق هدف عزيز فيجب ألا تتعارض الوسائل مع مصالح الآخرين. وسائلنا دائماً محدودة بهذا السبب الشرعي. ولا يوجد هناك شيء اسمه «أياً كانت الوسيلة». فوسائل تحقيق الغايات الأكثر أهمية والأهداف السامية لا ينبغي أن تتعارض مع المبادىء والغايات الأخرى التي قد تكون أقل سمواً، لكنها مع هذا مهمة. يجب أن تعاد كتابة تلك المقولة كالتالي: «إن الغاية تبرر الوسيلة المقبولة». وبعد كتابتها بهذه الصيغة، ستفقد نكهتها الكبرى وتصبح حقيقة يمكن ضبطها علمياً.

فلنعد مرة أخرى إلى الإحكام الذاتي.

الإحكام الذاتي شكل من أشكال التحكم:

افترض أن المخرطة الآلية قد تم إحكامها لإنتاج براغي مفتولة من نوعية ممتازة. هذا يعني أن معايير المخرطة والمواد الخام يجب الحفاظ عليها ثابتة فإذا افترضنا أن كمية من المادة وصلت إلى

المخرطة تختلف قليلاً عن المواد العادية سواء في الشكل أو في الصلابة، فمن الطبيعي أن يؤثر هذا بعض التأثير في نوعية الأجزاء المصنعة، ويصبح الشكل هو الأكثر قابلية لتدخل المصادفة. ولا يمكن أن تبدأ المخرطة العمل أفضل نتيجة لهذا، وستتوقع نوعية إخراج منخفضة، وعلى الصانع أن يعيد ضبط أو إحكام المخرطة. أي عليه أن يجد قواعد التحكم التي تضمن منتَجاً ذا نوعية عالية. وهذا يعني أنه سيحاول تقليل الفرق بين المثالي المشار إليه بالختم المطبوع، وبين المنتَج الفعلي. وهذا هو التحكم ذاته.

برسم خلاصة عامة من المثل أعلاه، نستطيع القول بأنه في عملية التحكم يستبعد الصانع نواتج التغيرات الطارئة غير المتوقعة التي يحدث وجودها في النظام وتعود به إلى حالته الأقل احتمالاً والتي توازي القيمة الدنيا للاقتراب من مقدَّر النوعية المثالية.

لن نشغل أنفسنا في هذا الحيز بتفاصيل كيفية حدوث ذلك. الشيء المهم الآن هو أن نؤكد على أن النظام يبتعد عن الحالة المرجوة، ثم بعد وقت قصير يعود إليها مرة أخرى بفعل نظام ثانٍ (الصانع هو أيضاً نظام). وبمجرد أن نلتقط هذه الفكرة، سنخطو خطوة ـ رغم قصرها ـ نحو فهم نُظم الإحكام الذاتي Self-Adjustment.

فإذا أخذنا المخرطة سوياً مع الصانع البشري كمكونيْن لنظام أكثر تعقيداً، سنستطيع دون أدنى شك تسمية هذا النظام نظام إحكام ذاتي. ويمثل الصانع عنصر الإحكام في النظام الأكثر تعقيداً.

قد يتعجب القارىء من أن الآلة والصانع يشكِّلان نظام إحكام ذاتي. الرد هو: نعم إذا عمل الصانع داخل النظام لتحسين أي من خصائصه، و لا إذا لم يلاحق الصانع في مسار تفاعله مع الآلة، الغرض النوعي لتحسين عمله. كذلك يكوِّن السائق مع سيارته نـظام إحكام ذاتي. السـائق يقود السيارة. ومن وقت لآخر يضبطها ويصلحها ويحافظ عليها، بينما لا يعمـل السائق الهـاوي كعنصر إحكام، لذا لن يكون النظام (سيارة/سائق) محكماً ذاتياً.

من الطبيعي أن تندهش من هذا الكلام عن نظم الإحكام الذاتي كما لو أنه مجرد لعب فارغ بالكلام أو مجرد سفسطة. فإذا تمحور كل العمل على وجود الصانع، فإن كلمة «ذاتي» لا تستحق أن تُقال هنا.

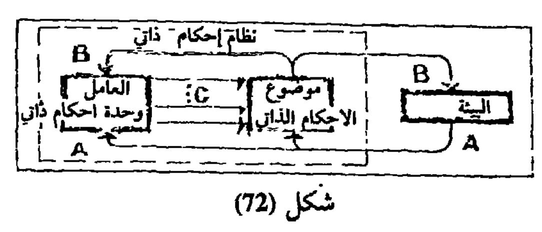
نعجل بالإشارة إلى أن دراسة نظم الإحكام الذاتي التي تتضمن عاملاً بشرياً ذات أهمية عميقة لأنها تؤدي إلى فهم الملامح النوعية لوسائل الإحكام البشري، لأنه وبمجرد أن نفهم هذا سنكون في وضعية تسمح لنا بمحاولة بناء آلة أوتوماتيكية (ذاتية) تحل محل العامل البشري وتحرره. وإذا كان علينا صنع تلك الآلة، فينبغي أن تكون لدينا فكرة واضحة عما تحتاجه مثل هذه الآلة من المعرفة والمهارات وما الذي عليها أن تتذكره خلال العمل. ولكشف كل هذا سندرس عمق الوظائف والإجراءات التي يقوم بها العامل البشري في ظروف مشابهة. وأثناء الدراسة سنبني بديلاً له، أي سنؤلف خطة عمل لآلة المستقبل الأوتوماتيكية التي ستحلّ محله.

إن إحدى المشاكل الأكثر أهمية التي لم تدرس كفايةً في مجالات التحكم هي نشاطات أو عمل مركَّب الآلات من أجل إحكام النظام المعقد، مثل مخرطة أوتوماتيكية.

عند هذا الحد، سنحاول تعريف **نظام الإحكام الذاتي** بأنه: النظام الذي يميل للوصول إلى حالته

المثالية بشكل مستقل ودون تدخل خارجي. أي إذا احتفظ مقدَّر النوعية بالنظام في المستوى الأدنى ذاتياً وبشكل مستقل عن أي تأثيرات يمارسها عليه الوسط المحيط.

يُظهر الشكل (72) تفاعل مثل هذا النظام المحكم ذاتياً مع بيئته. يتكون النظام من عامل بشري



شكل (72)

يراقب نوعية إخراج المخرطة عبر القناة B، وفي الوقت ذاته يلاحظ القناة A لرصد أي تغير في نوعية المادة التي تغذي المخرطة (الإدخال). فإنْ غيرت المادة خواصها، يعيد العامل إحكام المخرطة بتحديد قيم جديدة لمعايير التحكم. وليفعل هذا عليه معرفة التصرف المناسب في كل حالة محددة، أي في حالة انحراف خصائص المادة عن المعدل المعياري المرسوم. يجب أن تكون أفعاله مقدرة سلفاً بدقة بواسطة عمل الآلة. فإما أن يعرف كل شيء، أي أن يعرف عملية التصنيع المحددة وما إذا كان يجب أن يقرر بنفسه إن كان ينبغي تغيير المعايير، أو أن عليه امتلاك مجموعة كاملة من خطط الحل التي تقوده إلى الفعل المطلوب عند أي انحراف عن المعدل المعياري قد تظهره الآلة.

مصاعب الإحكام:

إنَّ أي إنسان يعرف أي شيء عن المخارط الأوتوماتيكية، يعرف أن مجموعة التعليمات التي تهتم بكل احتمال تميل لأن تشبه الموسوعة البريطانية. من ناحية أخرى، يتطلب الفهم الكامل لعملية التصنيع قدرة العامل على التعامل مع المشاكل التفصيلية عموماً، كما يتطلب معرفة عميقة بالعملية النوعية التي يقوم بها. من الطبيعي أن تشكل مثل هذه الحالة وضعاً ضد رغبة أي إنسان. والمهم أكثر أنها عبء لا يحتمل على العامل نفسه. بالإضافة إلى أن محاولة إيجاد الطريق وسط كتاب متعدد الأحجام مليء بالتعليمات، سيكون بلا شك أمراً غير مبهج. فلو أضفنا إلى ذلك الكميات الكبيرة التي تنتجها المخارط الأوتوماتيكية ـ عادة ـ طبقاً لمتطلبات مخططة هي متطلبات المعدل المتوسط، أي أن المخارط معينة لإنتاج مواد مختلفة في أوقات شهرية تقريبية، سيكون على العامل هكذا أن يتعوّد على استقبال تعليمات جديدة غزيرة كل شهر، وعلى المهندس كتابة مثل هذه التعليمات كل شهر أيضاً. وهذه ستجعل الحياة عبئاً لا يحتمل مطلقاً.

تتشابه المصاعب التي يواجهها العامل والمهندس، فالطريقة التي يختارانها لضبط وإحكام المخرطة ليست بالطريقة المثلى والتي تسمى بـ «طريقة التعويض». فبهذه الطريقة يكون من المستحيل عملياً أن يستخدم العامل قناة «التغذية الارتجاعية» B التي ستسمح له بالمقابل أن يحكم نوعية الناتج، وبالتالي ستزيد هذه الطريقة من صعوبات العامل والمهندس أيضاً.

الغرض الوحيد للقناة B هو مراقبة إن كانت المخرطة تخرج إنتاجاً جيداً أو رديئاً، وعندما يظهر عنصر ناقص، تكون هذه منبهاً للعامل للاهتمام بنهاية إدخال النظام أي الانتباه إلى الخامات، لأن

انحرافها عن المتوسط القياسي هو السبب الأكثر احتمالاً لخلل العناصر الظاهرة عند الإخراج.

لكن افترض أن «كل الأشياء» ليست متساوية كلياً، أي أن أحد معايير (معالم) المخرطة يتغير لسبب داخلي ما، في الوقت نفسه الذي تتغير فيه الخامة، لتصبح إحدى الأدوات زلقة في يد ماسكها. وحيث إن «كتاب التعليمات» مؤلَّف للتعامل فقط مع تغيرات الخامات الداخلة، فلن يكون له أدنى عون في تقرير ماذا نفعل إزاء إمكانية وقوع حدث جديد على الرغم من حجمه الهائل. ما يستطيع أن يفعله العامل فقط هو الدراسة الفاحصة لأسباب الخلل، ومحاولة استبعادها وإعادة إحكام المخرطة. ولفعل هذا عليه أن يُبقي عينيه لصيقة بالقناة B، لأنها تحمل كل المعلومات المتاحة فعلاً، بالإضافة إلى نوعية عمل المخرطة. وبمراقبة التغذية الارتجاعية B لمعرفة نوعية الإخراج، يستطيع العامل أن ينظم الآلة حتى ولو كان جديداً كلياً على نوع العمل الذي تقوم به.

وكيف يمكن التغلب عليها؟

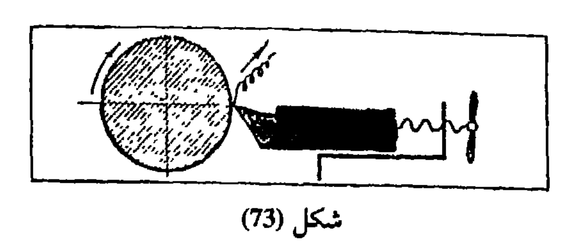
إذا كان هناك عامل يمتلك الحد الأدنى المطلق للمعرفة اللازمة لتشغيل مخرطة، لكنه موهوب بالحس السليم، فإنه يحتاج إلى كمية محددة من المعرفة لكي يجعل المخرطة تنتج «المركَّب» المطلوب. فإذا أردنا إنتاج صمولة من الصلب مثلاً، عليه أن يعرف كيف يجبر المخرطة على صنعها، لا صنع البراغي (عليه أن يمتلك تأهيل الحد الأدنى ليكون قادراً على فعل هذا)، بالإضافة إلى حاجته للحس السليم لكي يكون قادراً على إحكام المخرطة حينما يكون ذلك ضرورياً للمحافظة على عدد الأجزاء المُنتَجة من الخلل.

افترض الآن أن المخرطة لم تعد محكمة، فأصبحت تنتج صواميل من الصلب لا تتوافق أبعادها مع أبعاد نوعية التصميم (تُساعية الشكل مثلاً بدلاً من سُداسية الشكل). لا يعرف العامل مسبقاً ماذا عليه أن يفعل بالضبط لتصحيح الخطأ، لكنه يعرف جيداً ماذا يستطيع أن يفعل لإحكام المخرطة لتغيير بعض من أبعاد المُنتَج، على الرغم من أنه لا يعرف كيف تأثرت أبعاد القطع المنتجة بتغير معايير المخرطة. وبإدارة أحد التحكمات (تغيير أحد المعايير)، وبإنتاج صمولة واحدة، يستطيع العامل اكتشاف تأثير فعله في الناتج النهائي. وفي مسار هذا التحليل يواجه ثلاثة أنواع من التحكم.

ثلاثة أنواع من التحكم:

النوع الأول من التحكم: هو الذي يؤثر في بعد واحد من أبعاد المنتَج (صمولة الصلب مثلاً)، بغض النظر عن مواقع التحكمات الأخرى. وبإدارة النوع الأول في اتجاه واحد ـ الأيمن مثلاً ـ يزداد البعد المذكور، وبإدارته في الاتجاه المعاكس، ينقص هذا البعد.

قد يمتلىء العامل فرحاً باكتشاف هذا النوع من التحكم، لأنه سهل الاستخدام، فإذا كان هناك بُعْد محدّد قد ازداد فجأة، فكل ما عليه هو أن يدير التحكم المناسب في الاتجاه المناسب ليتخلص من الخطأ بقدر ما يستطيع. نرى في الشكل (73) مثالاً عن هذا النوع من التحكم حيث يعتمد موقع الآلة بالنسبة لنموذج العمل الدائر حول محور، وكذلك قطر الجزء المنتج (بالتالي)، على موقع قرص اليد الذي يتحكم في الآلة. فعندما تدور عجلة (قرص) اليد للداخل، تندفع الآلة نحو نموذج (قطعة) العمل، فيقل قطر الجزء المنتج. وعندما تدور للخارج، يزداد قطره. فإذا كانت دورة كاملة للقرص



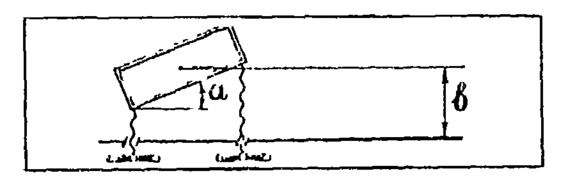
شكل (73)

تحرك الآلة مليمتراً واحداً، وإذا اكتشف العامل ـ ساعتها ـ أن القطر المحكوم بقرص اليد هو أكبر بـ 0.1 مليمتر مما يجب، عليه فقط أن يدير القرص 20 / 1 (جزء من عشرين) من دورة كاملة في اتجاه حركة عقارب الساعة، ليقلل قطر الجزء المنتج بـ 0.1 مليمتر، وهكذا يكون قد صححه.

علينا أن نلاحظ أن العامل يستطيع فعل هذا بثقة بعد أن يقوم فقط بالتجارب المناسبة التي تتكون من تدوير القرص يميناً ويساراً ملاحظاً التغيرات الناتجة في أبعاد الجزء المصنع الذي تنتجه المخرطة. وبعد أن يحدث هذا، ينشغل العامل كلياً بأي تغير قد يحدث في الأبعاد المحكومة بالنوع الأول من التحكمات. وبعد قياس الجزء المنتج، يكون قادراً مباشرة على تطبيق التحكمات، لذا تصحح الأبعاد في الأجزاء المصنعة التالية.

عند هذا الحد يلزم رسم خلاصة صغيرة: إنَّ أي انحراف عن المثالي لبُعد يحكمه النوع الأول من التحكم، يحتوي على معلومات كاملة عن كيفية واتجاه إدارة التحكم لتقليل الانحراف إلى الصفر. وليست هناك صعوبة حقيقية في ضبط أبعاد الجزء المصنَّع بواسطة النوع الأول الذي يسمى «التحكم في الانحرافات».

النوع الثاني من التحكم: سيحير هذا النوع العامل إذا ابتدأ به، فدورة واحدة منه ستنتج ـ مباشرة ـ أبعاداً متعددة لصمولة الصلب المنتجة، وتلك الأبعاد تتغير أيضاً في الوقت نفسه. ويظهر شكل (74) مثالاً عن تنظيم يحتوي زوجاً من النوع الثاني من التحكمات (أقراص تدار باليد)، يحدد موقع قطعة عمل مستطيلة.



شكل (74)

هنا توضع قطعة العمل (النموذج) في موقع محدد بالنسبة للمخرطة: يجب أن تكون لزاوية الميل a والبعد عن المركز b قيمتان محددتان. فإذا تحرك أحد هذه التحكمات، سيتغير كل من هذين المعيارَيْن. ومن الواضح أيضاً أنه لإحكام أي من المعيارَيْن b, a بقيمها الصحيحة، يتعين تغيير التحكمات في الوقت ذاته. فلتغيير قيمة b ينبغي تدوير كل من قرصي اليد في الاتجاه نفسه وبالقيمة نفسها. وستبقى a ـ ساعتها ـ ثابتة خلال هذا العمل. ولتغيير الزاوية a يجب تدوير قرص اليد بالزاوية

نفسها، لكن في اتجاهات معاكسة، وستبقى المسافة b ثابتة أثناء العملية.

نستطيع من هذا المثال إدراك أنه لكي نغير بُعداً واحداً فقط من أبعاد المادة المنتجة، علينا أن نحرك تحكمين في الوقت ذاته عدة مرات بطريقة معينة.

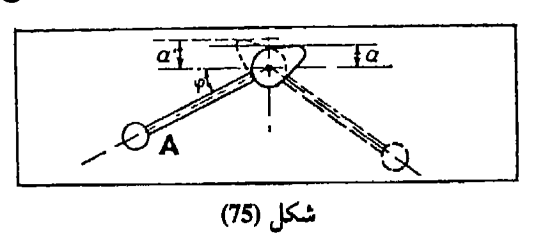
من السهل أن نرى مرة أخرى أن أي انحراف عن الأبعاد المطلوبة للمنتَج يحتوي معلومات كاملة عن كيفية تغيير مواقع النوع الثاني من التحكمات لتقليل الانحراف إلى الصفر. تبدو العلاقة هنا أكثر تعقيداً إلى حد ما. لكن لا يوجد ما يمنع العامل من اكتشافها بواسطة التجريب، وبمجرد فعل هذا، لن تكون أمامه أي صعوبة في تحديد مواقع النوع الثاني من التحكمات لضمان الأبعاد الصحيحة للمنتَج النهائي.

يتضح إن النوع الأول والنوع الثاني من التحكمات يسمحان بإحكام أو ضبط شديد الفعالية لأبعاد المنتج النهائي. ويمكن تصحيح أي انحراف عن الأبعاد المطلوبة مباشرة، وبقياس واحد فقط، أي أن ملاحظة واحدة للانحراف تكفي للتصحيح، أي لتحديد ماذا يتعين عمله بـالضبط للهبوط بالانحراف إلى الصفر.

ونستطيع أن نرسم خلاصة أخرى: لا يحمل النوع الأول والثـاني من التحكمات أي خـوف للعامل. فبمجرد أن يحدد هدف كل منهما، يستطيع التأكد أنه مهما حدث فسيكون قادراً على تصويب أي خلل في المادة المصنعة بمجرد ظهورها، بفرض أن الخلل الذي يحدث في أي بعد يصوب بأي من هذين النوعين.

أخيراً، هناك مجموعة من التحكمات ستترك العامل غير محير كلياً عندما يواجهها لأول مرة في مراقبته للمخرطة.

النوع الثالث من التحكم: وهو أكثر تعقيداً من النوعين السابقين اللذين يضبطان عديداً من أبعاد المنتج النهائي في الوقت نفسه، لكن التغيرات الفعلية التي تحدث في الأبعاد مختلفة طبقاً لمواقع التحكم المختلفة. فعلى سبيل المثال، تزيد إدارة التحكم إلى اليمين بُعداً محدداً، بينما تتسبب الحركة نفسها في موقع آخر في تقليل البعد ذاته. يظهر الشكل (75) مثالاً عن هذا النوع من التحكمات.



شكل (75)

هنا يعتمد البعد φ على الزاوية (حيث إن الكامة (محور التدوير) Cam التي تعمل بالرافعة A تكون ثابتة. عندما تكون الرافعة في اليسار وتتحرك عكس عقارب الساعة يزداد البعد a، لكن تتسبب حركة مشابهة في اتجاه عكس عقارب الساعة والرافعة في اليمين، في انخفاض البعد a. ونستطيع أن نرى من هذا المثال أن هناك وضعاً واحداً لرافعة التحكم حيث لا تتسبب أي حركة خفيفة في أي تغير في البعد a، وهو الوضع الذي تساوي فيه زاوية الكامة φ تسعين درجة. وتمثل هذه الزاوية الوضع

الحرج للتحكم، وهي هنا مستقلة عن أوضاع التحكمات الأخرى. بيد أن هذا ليس الحال دائماً، فغالباً ما يعتمد الوضع الحرج لتحكم معين على أوضاع التحكمات المشابهة الأخرى.

المثال النموذجي الآخر للنوع الثالث من التحكم هو زر ضبط المحطات في جهاز راديو. افترض أن المحطة التي نستمع إليها تختفي بعيداً، ونريد أن نضبط الجهاز للعودة بالمحطة مرة ثانية، ففي أي اتجاه علينا أن ندير المفتاح؟ ليس أمامنا طريقة للمعرفة حتى نقوم ببعض التجارب، لأن مفتاح ضبط المحطات هو من النوع الثالث للتحكم، ولهذا يتطلب فحصاً نظامياً في كل مناسبة. قد يكون علينا أن ندير الزر في اتجاه حركة عقرب الساعة مرة وعكسه في المرة الأخرى معتمدين كلياً على الاتجاه الذي اختفت عنده المحطة.

نتبين أن لهذا النوع من التحكمات خاصية مخاتلة تقوم بتغيير درجة التـأثير في إخـراج النظام المحكوم، بينما في النوعين السابقين يكفي فحص أولي وحيد لتحديد تأثير هذين النوعين في النظام. أما النوع الثالث فيتعين مراقبته طول الوقت. فعندما نضبط نظاماً ما يجب أن نتيقظ دائماً للنوع الثالث من التحكمات التي قد تقلب تأثيراتها في النظام في أي لحظة. وحينما يحدث هذا، علينا أن نتقدم ونحن نعرف خصائصه المتغيرة.

إذاً، عندما يواجهنا النوع الثالث من التحكم، تنبغي معرفة القاعدة الآتية: أدر التحكمات دائماً بزاوية صغيرة لكي لا تفقد النقطة التي تصل عبرها إلى الوضع الحرج للتحكّم.

يذكرنا العمل على هذا النوع بإدارة معركة حربية. الفرق الوحيد هو أننا لا نواجه هنا عدواً بشرياً، وإنما نواجه الطبيعة. فكل معركة مسبوقة باستطلاع هدفه جمع المعلومات عن قدرة ومواقع قوات العدو. وتشكّل هذه المعلومات قاعدة خطة العمليات. في نهاية العملية يتغير الموقف: يعيد العدو تجميع دفاعاته، ولذا يجب القيام باستطلاعات جديدة قبل العملية التالية.. وهكذا.

إنَّ العامل على آلة «شن الحرب» يكون بالضبط في موقع النوع الثالث من التحكمات. فقبل أن يعيد تعديل التحكمات عليه أن يقوم أولاً بـاستطلاع، لكي يكتشف اتجـاه التدويـر ليحقق التأثـير المطلوب. وعندما تخرج المخرطة عن إحكامها مرة ثانية، عليه أن يقوم باستطلاع آخر قبل أن يستطيع إعادة إحكامها.. وهكذا. الخطة العامة تكون كالتالي: استطلاع ← معركة ← استطلاع، وتطبق على هذا الموقف كذلك، لكن مع تغيير المصطلح إلى: تجربة ← إحكام ← تجربة. وتعني «تجربة» هنا تلك التعاملات أو «منابلات» الموضوع manipulations الضروريـة لجني المعلومات التي نحتـاجها للتحكم فيه.

- 8 -

البحث : المسارات والانحرافات

رأينا كيف يحلل العامل عملية النوع الثالث من التحكمات، ثم يقوم بعد ذلك بإحكام النظام بواسطتها. واتضح أن هذا النوع من التحكم له طبيعة مزدوجة، ولهذا السبب نطلق عليه كلمة البحث Search. ويعود هذا المصطلح إلى عملية جمع نشط للمعلومات. ويشير إلى أكثر من مجرد عملية مراقبة النظام، لأنه يتضمن اجراء تجارب على النظام لاكتشاف طبيعة سلوكه المستقبلي في الظروف المختلفة التي قد تظهر أثناء عملية التحكم، فإذا لم يغير النظام (الموضوع) سلوكه، يُجرى التحقق مرة واحدة فقط للتأكد من سلامة الوضع طول الوقت.

نُذكِّر القارىء بأن العامل سيستمر في تجريب هذين النوعين الأولَيْن من التحكمات فقط، حتى يستطيع أن يكتشف نوعهما. وبمجرد أن يقوم بذلك، لن تكون التجارب التالية ضرورية بسبب المعرفة الكلية للاتجاه ولنوع التحكم الذي سيدار في أي موقف مستقبلي. أما النوع الثالث من التحكمات فهو مسألة مختلفة كلياً لأنه يغير خواصه طول الوقت، فإن رفع أحد التحكمات أبعاد الجزء المنتج عند إدارته أمس في اتجاه محدد، فإنه يكون مضطراً اليوم إلى تخفيض البعد والعكس بالعكس.

يتطلب النوع الثالث بحثاً متواصلاً، فعندما ينحرف البعد الفعلي للعنصر المنتج عن المثالي، لا توجد طريقة لمعرفة اتجاه الدوران أو كيفية التدوير. ويتكون البحث من القيام بعدد من المحاولات كبداية، وحينها يكون من الممكن إحكام النظام. ولذا يمثل النوع الثالث للتحكمات الصعوبة الرئيسية التي على عامل المخرطة أن يواجهها. بالتالي، فإن عنصر التقويم الأساسي لهذا العمل هو عملية البحث.

كيف عليه إذاً أن ينظم هذا البحث؟ بإعطاء المشكلة قليلاً من التفكير قد يختار العامل أحد الطرق الآتية:

الطريقة رقم «1» :

يقوم الصانع بضبط خفيف لأول تحكم من النوع الثالث. ينتج صمولة صلب واحدة بواسطة التحكم في هذا الوضع، ثم يقارنها بالمنتَج السابق. يستخدم لهذا الغرض «مقدَّر نوعية» مثل الذي ناقشناه سابقاً. فإذا كانت قيمة المقدر بالنسبة للمنتَج الجديد أقل من السابق (يعني هذا أن القطعة المنتجة حديثاً أفضل)، يحرك العامل التحكم في الاتجاه ذاته. أما إذا ازدادت قيمة مقدر النوعية

وأصبحت القطعة المنتجة أسوأ، يحرك العامل التحكم في الاتجاه المعاكس. هكذا يستطيع العامل أن يعمل بقدر ما يمكن لتحسين نوعية المنتج بالتغيير التدريجي لموضع التحكم المحدد. وسيظل هذا الطريق بعيداً عن المثالي، لكنه سيكون أفضل من السابق ـ القطعة عديمة الفائدة كلياً ـ وسيكون المنتج الأفضل الذي يمكن الحصول عليه بإحكام أو ضبط التحكم الأول من النوع الثالث للتحكمات في المخرطة دون أن يقترب أو يتعامل مع الأخرى. ثم يتقدم العامل إلى التحكم الثاني كما في السابق، ليكتشف وضعية أفضل لهذا التحكم بحيث ينتج صواميل الصلب الأفضل، وبمجرد أن يجده، يواصل التقدم إلى التحكم الثالث ثم الرابع. . وهكذا.

عندما يكمل العامل هذه العملية وينتهي من كل تحكمات المخرطة، يحدث أن تظل الصمولة الناتجة ـ على الرغم من تحسنها الكبير ـ بعيدة إلى حد ما عن الأبعاد المرجوة. عليه أن يرجع في هذه الحالة إلى التحكم الأول وأن يحاول إيجاد أفضل موقع له مرة أخرى، لأنه عندما عدَّل مواقع التحكمات الأخرى، لن يعود الموقع الأفضل (الأصلي) هو أفضل المواقع (تذكر أننا نتحدث عن النوع الثالث من التحكمات التي يتفاعل أحدها مع الآخر). ثم يفعل الشيء نفسه مع التحكم الثاني، ثم مع الثالث. . وهكذا. وقد ينبغي عليه أن يمضي عبر العملية كلها عدة مرات قبل أن يستطيع الحصول على الصمولة المنتجة بالأبعاد المطلوبة.

هل تبدو هذه عملية لانهائية؟

في الحقيقة، ليست هكذا أبداً، والسبب أنه مع كل وضع جديد للتحكمات، يقوم العامل دائماً بتحسين المنتج، ولا يسمح له أبداً بأن يعود رديئاً. وهنا ستأتي مرحلة تبدأ المخرطة في إنتاج صواميل الصلب بالأبعاد المطلوبة.

إن هذا العمل بتشغيل التحكمات على الآلة يعرف بطريقة جوس ـ سيدل Gauss-Seidel أو طريقة تغيير المعالم التعاقبي Sequential Parameters. ومع أنها تؤدي إلى النتيجة المطلوبة، إلا أنها طريقة مجهدة للغاية. ولذا قد يختار العامل طريقة أخرى لإحكام المخرطة.

الطريقة رقم «2»:

تتطلب الطريقة الثانية أن ينفق العامل كمية محددة من الوقت، يحلل فيها تأثير التحكمات قبل البدء في ضبط ـ أو ربما ينبغي القول في تنغيم ـ النظام. وقد يكون له الحق أن يتصرف كالتالي: يؤثر كل تحكم في مقدَّر النوعية تأثيراً مختلفاً، ولذا لتوفير الوقت تؤخذ التحكمات ذات التأثير الأكبر في مقدَّر النوعية، وتدار بزاوية أكبر. بينما تدار تحكمات التأثير الأقل بزاوية أصغر. فيخلص العامل بأن عليه تحريك التحكمات تبعاً لنسبة تأثيرها في مقدر النوعية. فإذا كان يؤثر أحدها فيه ضعف تأثير الآخر، ينبغي أن يدار ضعف دورة أخرى. ولنأخذ الآن مثالاً ملموساً.

افترض أن هناك ثلاثة من النوع الثالث للتحكمات على العامل أن يضبطها ليقلل إلى أقصى حد مقدَّر النوعية للناتج النهائي. وعليه قبل أن يستطيع تطبيق مبدأ النسبية المذكور أن يجد الحد الذي يؤثر به أحد التحكمات في مقدر النوعية. ويفعل هذا كما يلي: يدير أحدها في اتجاه محدد ـ لنقل اتجاه حركة عقرب الساعة ـ خلال زاوية محددة، ولتكن عشر درجات. ثم ينتج صمولة واحدة بالمخرطة، ويحدد

قيمة مقدر نوعيتها. وبمعرفة قيمة نوعية الصمولة السابقة، يمكنه تحديد فرق النوعية بين الصمولتين. افترض أن هاتين القيمتين: 20 للأولى، 22 لمحاولة الإحكام، هنا يساوي تغير قيمة النوعية +2. ويخبره هذا التغير بتأثير التحكم الأول. يدرك الآن أنه لو أدار التحكم 10 درجات في الاتجاه المعاكس (بادئاً من موقعه الأصلي)، فإنه سيحصل على قيمة 18 على المقدِّر (تغير يساوي −2). بكلمات أخرى: لقد قلل قيمة مقدر النوعية، وحسَّن نوعية الصمولة المنتجة، وإن كان عليه ألا يُجري هذا الإحكام حتى يستبعد تأثيرات التحكمين الآخرين.

لذا، يعيد التحكم الأول إلى موقعه الأصلي، ويقوم بمحاولة مشابهة مع التحكم الثاني. ويفعل الشيء نفسه مع الثالث، ليكتشف تأثير كل واحد منها. ولقد قمنا بجدولة نتائج هذه التجارب أدناه. في الجدول، تشير علامة (+) إلى تدوير التحكم في اتجاه عقارب الساعة، أما علامة (−) ففي اتجاه عكس حركتها، لتكتمل بهذا مرحلة التحليل.

	الأوضاع الأصلية	التحليل			الضبط الأول
		اختبار أول	اختبار ثان	اختبار ثالث	
التحكم الأول	°0	°10+	°0	°0	°10-
التحكم الثاني	°0	°0	°10+	°0	°10+
التحكم الثالث	°0	°0	°0	°10+	°5-
قيمة مقدِّر النوعية	20	22	18	21	°15
التغير في مقدِّر النوعية	-	2+	2-	1+	-

يجري العامل الآن الضبط الأول، فيغير أوضاع التحكمات بكميات تتناسب مع تأثيراتها في مقدِّر النوعية، أي تتناسب مع التغيرات التي يلاحظها في المقدِّر estimator أثناء التجارب التي كان يقوم بها حالاً. تساوي كمية كل إحكام adjustment تغيّر مقدر النوعية مضروباً في معامل ثابت [في مثالنا اخترنا القيمة − 5 للمعامل الثابت. يظهر العمود الأخير في الجدول الزوايا التي تدور حولها التحكمات التي تؤثر في الإحكام. وتتناسب - كما ترى - مع نتائج الاختبارات. ونلاحظ أن اختيار «ثابت النسبية» هنا اعتباطي. ومع هذا يُختار عادة لتقليل قيمة مقدر النوعية لأقل مستوى ممكن. من الطبيعي أنه لو جعلنا هذا «الثابت» كبيراً جداً أو صغيراً جداً ستكون النتيجة في الحالتين نتيجة إحكام ضعيف أو رديء، فيتعين إذاً اختيار الثابت في كل مناسبة نوعية اختياراً خاصاً.

عند هذه المرحلة، على العامل أن يحدد تأثير كل من التحكمات مرة ثانية، لأنها قد تغيرت الآن بكل تأكيد. بعد أن يقوم بهذا، يبدأ في الإحكام الثاني لكل التحكمات الثلاثة في الوقت نفسه طبقاً لتغيراتها الجديدة، ويستمر هذا الأداء حتى يقلل مقدر النوعية إلى الحد الأدنى المطلوب. وتسمى هذه الطريقة الإحكامية بطريقة تغير المعايير التناسبي Proportional Parameter Change أو طريقة الميل المدرَّج: نسبة التغير gradient method، وتتميز بدقة معينة، وتتفوق في حالات كثيرة على طريقة جوس - سيدل.

مع هذا، قد يحدث أن تكون هذه الطريقة غير مناسبة بسبب كثرة عدد مرات تحديد خواص التحكمات، فعلى العامل في كل مرحلة من مراحل الضبط (الإحكام) أن يؤدي تجارب عديدة كما في النوع الثالث من التحكمات. فماذا يحدث إن وجد مئة منها؟ أو ربما ألفاً؟ فماذا يفعل إذاً؟

ينبغي أن نخلُص إلى أن طريقة «الميل» تكون دقيقة في إحكام الأنظمة البسيطة التي يكون فيها عدد التحكمات قليلاً ـ اثنان أو ثلاثة مثلاً ـ لكن إذا كان عدد التحكمات كبيراً، فعلينا أن نبحث عن طريقة أخرى من طرق الإحكام. هنا تعود المصادفة لإنقاذنا مرة أخرى.

الطريقة رقم «3» (طريقة البحث العشوائي):

لا تتطلب هذه الطريقة من العامل حساً سليماً فقط، بل تتطلب أيضاً شجاعة في اتخاذ قراره، لأنه قد يضطر لتأدية أفعال تبدو غريبة ولاعقلانية للغاية لأول وهلة.

للاستفادة من هذه الطريقة، عليه أن يدير كل التحكمات مرة واحدة بزاوية صغيرة في اتجاهات عشوائية (نذكِّر القارىء مرة أخرى بأننا نتحدث عن النوع الثالث من التحكمات). فكيف يتأكد من أنه اختار الاتجاهات العشوائية؟ يستطيع أن يقوم بهذا برمي قطعة نقدية لكل تحكم وإدارة التحكم إلى اليمين ـ لنقل صورة ـ وإلى اليسار ـ كتابة ـ ثم يدوّن ملاحظاته عن كل التغييرات. يعتمد العامل عند أدائه لهذه العملية غير المنتجة (المخرِّبة) على الخاصية المميزة الكامنة في المصادفة، وهي خاصية تطويق أي احتمال ممكن. من بين كل الاحتمالات، هناك احتمالات تحسين الإنتاج، وهي نسبة ذات قيمة من الاحتمالات الكلية. سيتكون الإجراء إذاً من صنع سلسلة من الإحكامات العشوائية الإجمالية. فإذا تسببت مجموعة محددة من الإحكامات في تدهور نوعية المنتج النهائي، تنبغي إعادة التحكم مباشرة إلى وضعه السابق، ويتم القيام بمجموعة إحكامات عشوائية أخرى ثانية بتدوير كل تحكم بزاوية صغيرة في اتجاه عشوائي جديد.

للوهلة الأولى، يبدو سلوك العامل بلا معنى كلياً. وحيث إن طريقة «الميل» كانت مؤكدة في تحسين العمل، فإن الطريقة الحالية لا تضمن فقط أي تحسن، بل وقد تجعل الموقف أسوأ فعلياً. فكيف نتأكد من أن العامل لن ينفق كمية زائدة من الوقت وهو يقوم بتحكمات بهلوانية مُقامِرة؟ وهل هناك في الحقيقة أي نهاية لهذه العملية؟

تتصاعد تلك الشكوك والمخاوف لأن الطريقة العشوائية لإحكام مخرطة هي طريقة غير عادية، بيد أن الفحص الدقيق يبين أن ميزاتها الكبيرة تفوق الطرق النظامية (غير العشوائية). نعم، قد تجعل مجموعة من الإحكامات العشوائية الناتج النهائي حسناً أو سيئاً، لكن أياً من النتيجتين يمكن توقعها باحتمالات متساوية. وهذا يعني ـ في المتوسط ـ أنه بعد كل دورة ثانية للتحكم سيتحسن المنتَج. وكما توضح كل الحسابات النظرية والتجارب العملية أن الوقت المطلوب للإحكام بالطريقة العشوائية يمثل توفيراً مهماً للوقت. فعلى سبيل المثال وفي طريقة البحث العشوائي، يمكن لنظام يتضمن مئة تحكم أن يُضبط في المتوسط في عُشر الزمن اللازم عند استخدام طريقة «درجة الميل». ففي أي وقت يقوم العامل بضبط عشوائي غير ناجح، يعود بالنظام مباشرة إلى حالته الأولى ويقوم بعملية ضبط عشوائي أخرى. كل إحكاماته لن تكون ناجحة بالتساوي: ستكون هناك إحكامات سيئة تقلل من نوعية الناتج

(ستُستبعد مباشرة)، وستكون هناك إحكامات جيدة، وستكون هناك إحكامات ضبط «جيدة بالكاد» أي تلك التي نادراً ما تحسِّن المنتج النهائي، وتلك الجيدة جداً ذات مردود تحسن كبير ومباشر في النوعية. في مثل هذه الحالات يحدث أن تكون الاتجاهات العشوائية التي تتحرك فيها التحكمات الصحيحة صدفية في كل هذه الإحكامات تقريباً، وهذا يعني أن المواقع الملائمة التي ترتبط بأعلى نوعية ممكنة يجب البحث عنها داخل هذه الاتجاهات بالضبط. ومع هذا، نادراً جداً ما تحدث هذه الإحكامات العشوائية «الجيدة جداً»، ولا يرتبط تفوق طريقة البحث العشوائي بها في الحقيقة. فقوتها تكمن في إحكامات «الجيدة بالكاد» لأنها تحدث مراراً وتكراراً ومن السهل أن تظهر بالمصادفة.

لعبة تستخدم البحث العشوائي:

إنَّ لعبة الأطفال المعروفة بلعبة «الساخن أو البارد» توضح جيداً طريقة الإحكام المذكورة. ولا شك أن القارىء قد عرف هذه اللعبة البسيطة في الصغر. قواعدها واضحة ومباشرة: فعلى الشخص المعين أن يجد شيئاً ما أخفاه الآخرون في الحجرة. وعندما يتحرك بعيداً عن مكان اخفاء الشيء، يصرخ الآخر: «بارد»، وإن اقترب إلى حد أو آخر من الشيء تسمع الصيحات «دافىء». وعندما يتجه مباشرة إلى مكان الإخفاء تسمع الصرخات «ساخن!!».

دعنا نحلل اللعبة. أول شيء يفعله اللاعب هو أنه يخطو في اتجاه عشوائي، فإذا سمع النتيجة السلبية «بارد»، يحاول أن يأخذ خطوة في اتجاه عشوائي آخر. يحافظ على هذا الاتجاه حتى يسمع التأكيد «دافىء». من هنا يركز بحثه في الاتجاه الصحيح. وعندما يسمع كلمة «ساخن» يتحرك إلى الأمام بثقة.

من السهل أن نرى أن اللاعب قد تصرف بالطريقة نفسها بالضبط كما يفعل «نظام الإحكام الذاتي»، فالإشارات: بارد، دافىء، ساخن، تحذره من تغيرات في «مقدَّر نوعيته» أي اقترابه من موضوع الإخفاء. إنه يختار طريقة البحث العشوائي لسبب واضح هو أنه لا يعرف أي طريقة أخرى للبحث. ويخدمه النقص المعلوماتي هذا خدمة جيدة في الحقيقة، لأن أي طريقة أخرى للبحث ستعقّد هدفه، وتجعل اللعبة لا تنتهي، وستصبح لهذا حفرة لا يخرج منها ببساطة.

عواطف يولِّدها البحث العشوائي:

دعنا نواصل مناقشتنا حول الإحكام الذاتي بطريقة البحث العشوائي. فمنذ الستينات تعامل عدد من الباحثين (الكاتب منهم) مع مشاكل الإحكام الذاتي، وقوبلت الطريقة باللامبالاة. فأي إنسان تعامل مع البحث العشوائي بأي طريقة كانت، يصب مشاعره في الموضوع بروح عاطفة مشبوبة. نعم، سخر البعض في البداية ـ بل الغالبية ـ من الفكرة واعتبروا السلوك العشوائي هو مجرد تمرينات ذهنية قاسية. دافع آخرون عن البحث العشوائي رائين فيه إمكانياته المميزة في دحر «لعنة الأبعاد» التي تعطل النظم المعقدة (تهدد هذه اللعنة كل من يعرف ويضع نفسه في موقع ضابط أي نظام معقد جداً له عدد كبير من التحكمات. وليس هناك حتى الآن إنسان يعرف حلاً لمشاكل من هذا النوع).

بالتدريج خفَّت حدة الجدل حول البحث العشوائي، بعد أن اتضح أنه في مواقف معقدة محددة تتطلب عدداً كبيراً من التحكمات، يكون البحث العشوائي فقط هو الطريقة الحيوية لحل المشكلة. واتضح أيضاً أنه لو أصبح عدد التحكمات صغيراً، وأن النظام مباشر وبسيط، ستكون إحدى الطرق

النظامية للبحث ـ الطريقة 1 أو 2 ـ هي الطريقة المثلى.

مع هذا، ينبغي أن نقول ـ حتى اليوم ـ هناك أناس لا يقتنعون بفكرة أنه في حالات صعبة محددة تكون الطرق العشوائية أكثر سرعة وأكثر كفاية. ففي إحدى المناسبات وبعد جدل عاصف حول البحث العشوائي في أحد مؤتمراتنا العلمية المنتظمة، توسل إليَّ صديق بأن أعترف بأن الأمر كله سخيف وبلا معنى. قال: «انظر.. أنا أعرف أنك تحتاج إلى الموضوع لرسالتك العلمية، وأنا متأكد بأنها ستُقبل، لكن أخبرني بكل أمانة: ألا يصل البحث العشوائي أو غير العشوائي إلى الشيء نفسه في النهاية؟ ألا يمكن أن تصبح طريقة الميل المدرج هي أفضل طريقة بعد كل شيء؟! هيا.. اقبلها!!». لم أقبل شيئاً كهذا بالطبع.

في مناسبة أخرى، حاول منظِّر بارز أن يبعدني عنها مستخدماً كل وزن سلطته الكامل قائلاً «أيها الشاب، لماذا تضيع وقتك في البحث العشوائي؟ لقد اهتممت به عندما كنت في مثل عمرك، وأصبحت قادراً على أن أبين أن السلوك العشوائي هو دائماً أدنى من السلوك النظامي، ويكون البحث العشوائي خاصة أدنى من البحث النظامي. أنصحك بأن تسقطه من حسابك». لكنني طبعاً لم أفعل.

مرة أخرى، تصادف أن استمعت إلى معارض متحمس للبحث العشوائي كان يبسِّط الأمر فيقول: «لقد عملت في تطوير الآلات الإلكترونية المعقدة للغاية. كثيراً ما حدث واستخدمت عملية بحث عندما كنت أشابه سلوك نظام ما بالحاسوب عالي السرعة. الآن، وجدت أن مصممي البرامج كانوا يحددون البدائل المعقولة باستخدام البحث العشوائي. لم يكن يهمني أي طريقة يستخدمون، طالما وصلوا إلى الأداء أو النمط المعقول للآلة. لكن وبكل تأكيد فإن هذه الطريقة العشوائية ضد كل منطق!!. مع هذا فقد أخبرتهم كثيراً أن البحث العشوائي هو بلا معنى كلياً، ولا يبدو أبداً أن كلامي وصلهم. بمجرد أن يكتسب مصمم برامج مذاق طريقة البحث العشوائي ـ هناك حساب وحيد كاف لذلك أستطيع القول ـ فإن الجياد الوحشية لا تستطيع إيقافه. لكن أقسم بحياتي بأنني لا أستطيع أن أفهم ما الذي يرونه فيها!!».

البحث العشوائي والتعلم:

إذا طبق العامل طريقة البحث العشوائي، فعليه تذكّر تفاصيل كل خطوة، وبدلاً من أن تكون كل اختياراته الناجحة عشوائية كلياً، فإنه يضع في اعتباره نتائج الخطوة السابقة، ويحصل من هذه الطريقة على مكاسب أكبر. وسيكون العامل قادراً على إحكام مخرطته، وإعادة إحكامها في وقت قياسي، علاوة على أنه لو دمج طريقة البحث العشوائي بالإحكام الذاتي، فسيكون في أفضل المواقع الممكنة للمحافظة على المخرطة في الحالة المرجوة للإحكام.

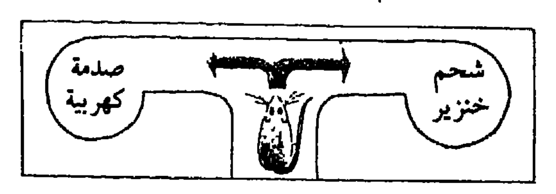
من المعلومات العامة أن كلاً من المخرطة أثناء عملها، والأدوات التي تنتجها، تكون خاضعة للبلى، ويميل هذا التحلل إلى رفع نسبة المنتجات ذات العيوب. وبالتالي تحتاج المخرطة دائماً للإحكام لكي تظل هذه النسبة في أقل معدل لها. ويحدث هذا كالتالي: في كل وقت يضبط العامل الآلة، يعتمد على الخبرة المكتسبة من الإحكامات السابقة، لأن فقدان المخرطة للإحكام، يرجع إلى السبب السابق نفسه، بلى الأدوات مثلاً.

يحتاج العامل وقتاً طويلاً ليكون قادراً على القيام بإحكام كامل في خطوة أو اثنتين فقط، لأنه علَّم نفسه كيف يصحح هذا النوع من فقدان الإحكام، أي أنه يعرف أي تحكم يديره وفي أي اتجاه وبأي مسافة ليحافظ على إحكام المخرطة.

تذكَّر عملية «التوجيه الذاتي» التي تجري أثناء عملية البحث العشوائي بالتقنيات المستخدمة في تدريب الحيوانات. فإذا تصادف وفعل الحيوان ما يريد منه مدربه، فإنه يكافئه على أمل دعم عمل الصدفة المحدد الذي قام به بمصاحبته بالمنعكس الشرطي الغذائي. وإذا فشل الحيوان في عمل ما هو متوقع منه، يُعاقب بـ «التشجيع» ليتصرف تصرفاً مختلفاً في المستقبل، فمن بين أنماط السلوك الأخرى تلك، سيكون النمط الذي يرجوه المدرب.

علينا أن نضع في رءوسنا أن العقاب سيؤدي غرضه المرجو فقط، عندما يكون عدد أنماط السلوك الممكنة صغيراً. آنئذ ستكون للحيوان فرصة الاصطدام (اللقاء) بالفعل المرغوب في وقت قصير مقبول، مجتهداً في تجنب العقاب. في مواقف أكثر تعقيداً حيث يواجه الحيوان عدداً كبيراً من الاحتمالات فإن العقاب لن تكون له نتيجة، لكنه سيقلل عملية التعلم كلياً. ببساطة سينزعج الحيوان. وهذه هي القاعدة النظرية لمزايا تشجيع الحيوان بدلاً من عقابه.

سندرس الآن تجربة تعلم بسيطة تستخدم فئران المختبر، ومتاهة على شكل حرف 'T' كما في شكل (76). يُحرر الفأر في المتاهة، فيقابله اختياران للمسارات الممكنة: أحدهما إلى اليمين والآخر إلى اليسار. يرغب المجرب في تدريب الفأر على المضي قدماً إلى اليمين، فيشجعه لفعل هذا بقطعة من شحم الخنزير موضوعة في الساق اليمنى للمتاهة. في الوقت نفسه يمنعه من الاتجاه نحو اليسار بصعقة كهربية كلما فعلها. بعد محاولات قليلة يتجه الفأر يميناً إلى شحم الخنزير دون أي تردد. ويعني هذا أنه تعلم بمساعدة كل من العقاب والتشجيع. نستطيع أن نستخدم العقاب فقط بإلقاء قطعة الشحم في ساق المتاهة اليمنى وصَعْقِه بصدمة كهربية إن اتجه يساراً. سيظل الفأر يتعلم الدوران يميناً لتجنب العقاب، لكنه سيأخذ وقتاً أطول للتعلم.



شكل (76)

لو ألغينا العقاب وأبقينا على المكافأة، سيتعلم الفأر الاتجاه يميناً بعد أن يصدف ويضل طريقه إلى الممر الأيمن فقط.

يبين هذا المثال عن تعليم الفأر بوضوح كلي أنه من الممكن تحقيق النتيجة المرغوبة بالجمع بين التشجيع والعقاب سوياً.

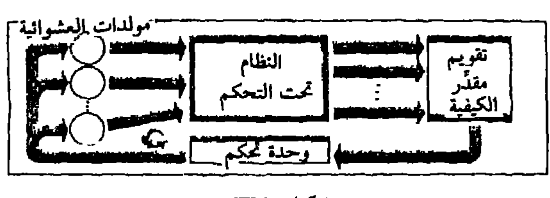
بالطريقة نفسها بالضبط، يتقدم التوجيه الذاتي أثناء البحث العشوائي، حيث يمكن الجمع بين

المكافأة (الميل إلى رفع احتمالات الإحكام الناجح)، والعقاب (الميل إلى تقليل احتمالات الإحكام غير الناجح)، لتحقيق التأثير المرغوب فيه بتسريع عملية البحث.

اقتصر نقاشنا على عامل تركيب: كائن بشري يقوم بعمليات الإحكام بنفسه. افترض الآن أننا أردنا إحلال نظام إحكام أوتوماتي (آلي) بدلاً من الإنسان العامل، يتضح أن العامل الذي يستخدم طريقة البحث العشوائي يتميز بميزة رئيسية هي أن الإحلال سهل جداً عليه، لأن برنامج حاسوب عشوائي البحث بسيط للغاية، ويمكن وضعه في آلة أوتوماتيكية ببساطة.

أتمتة البحث العشوائي *Automated Random Search*:

يبين الشكل التخطيطي (77) مثل هذه الآلة، حيث يمتلك النظام المراد إحكامه عدداً محدداً من معايير التحكم. تكون المجموعة في حالة حركة بواسطة مولدات العشوائية. يعبر إخراج output النظام إلى محول يحدد مقدّر نوعية النظام (قيمتها العددية)، ويرسل إشارة ترتبط بهذه القيمة إلى مجموعة وحدة التحكم (ستصل الإشارة إلى صفر فقط إذا كان النظام في حالة إحكام تام). تضبط مجموعة التحكم هذه الإشارة وتشغل مولدات العشوائية، فتغلقها أو تفتحها تبعاً لقيمة المقدّر.



شكل (77)

يعمل هذا التنظيم بطريقة بسيطة جداً. تغير مولدات العشوائية مواقع التحكمات في اتجاهات عشوائية. فإذا لم يتحسن النظام نتيجة لمجموعة التغيرات الأخيرة، أي لو لم ينخفض مقدر النوعية، فإنّ وحدة التحكم ترسل أوامرها عبر القناة G لتعيد التحكمات إلى مواقعها السابقة. من الناحية الأخرى، إذا انخفض المقدر، ترسل مولدات العشوائية المجموعة التالية من الإحكامات العشوائية إلى النظام. وهذا كل شيء.

وبإدخال عنصر تعلم في العملية، كل ما علينا أن نفعله هو إرسال تعليمات إلى مولدات العشوائية بالنسبة لإعادة إحكامها وضبطها. يحدث هذا كالتالي: في الوقت ذاته الذي تعاد فيه التحكمات إلى مواقعها السابقة بعد إحكام غير ناجح، ترسل وحدة التحكم أمراً آخر عبر القناة G، فيغير هذا الأمر خصائص مولدات العشوائية ذاتها، للتأكد من أن المواقع التي ترجع بها التحكمات المطلوبة إلى أوضاعها السابقة لن تحدث أبداً ـ كلما أمكن ذلك ـ في المستقبل. وهذا يعني أنه بعد ضبط المولدات ثانية، لن تحدث مجموعة التحركات الخاصة للتحكمات السابقة إلا فيما ندر. تأثير هذا هو أن التحكمات سيتم تحريكها مكرراً في الاتجاهات التي أدت إلى تحسن النظام.

نستطيع أن نصف عملية التعلم تلك بمصطلحات لعبة «الساخن أو البارد» كالتالي: يتذكر اللاعب رد فعل أي حركة من حركاته بالقول «بارد» ليكون أقل قابلية لتكرار الحركة ذاتها. أي لن يحاول التحرك في اتجاه «البارد»، بل سيحاول في الاتجاهات الأخرى غالباً. وبمجرد أن يستبعد اتجاهات

«البارد» المختلفة واحداً بعد الآخر، فإنه سيزيد من فرصته في الالتقاء بـالاتجاه «الـدافىء» أو حتى «الساخن» إلى أن يكون واثقاً من فعل هذا.

يتبين أن عنصر التعلم سينقذ اللاعب من تكرار الخطوات التي لا فائدة منها المعروفة بـ «البارد»، في الوقت نفسه يقوده هذا التعلم نحو خطوات «الدافىء» و«الساخن». ستلاحظ هنا أن هذه العملية هي نفسها «التعلم من الأخطاء الذاتية». يتمثل العقاب في التعليمات الخاصة التي تقلل احتمالات مولدات العشوائية من أداء حركات غير مرغوبة للإحكام العشوائي للنظام. ويمكننا أيضاً أن نستخدم نظام «التشجيع» بزيادة احتمالات الإحكامات التي تحسِّن عمل النظام، أي التي تقلل قيمة مقدر النوعية. وفي كلتا الحالتين سينجح النظام في تعلّم كيفية الإحكام الذاتي، وبالتالي سيأخذ وقتاً أقل لتصويب عمله مما لو لم يتضمن عنصر التعلّم.

نرى هنا كيف يجاهد نظام التوجيه الذاتي هذا لتحسين نوعية أدائه. مع هذا قد يحدث أي شيء في أي لحظة، يخل بسلاسة عمل النظام، لذا عليه أن يكون جاهزاً لإجراء بحث عن أوضاع جديدة لتحكماته، كما يكون عليه أن يقلل مقدَّر النوعية إلى الحد الأدنى. لكن حيث إن قيمة الصفر في مقدر النوعية لا يمكن الحصول عليها ـ يا للحسرة!! ـ فإن النظام لا يعرف كيف يحسب عدم قدرته على تحقيق قيمة الصفر: إنه لا يستطيع أن يخبرنا ببساطة أنه من المستحيل الوصول إلى المثالي أكثر مما هو متاح فعلاً، أو أن تدخل المصادفة يمنعه من العمل بمثل هذا الكمال. لهذا السبب يسعى النظام بدأب إلى تحسين نفسه بلا توقف، مختبراً الطرق المختلفة لتغيير معاييره، باحثاً، باحثاً، باحثاً... وإحدى مشاكل بحثه العشوائي هي أن يحدد النقطة التي يُعتبر عندها النظام جيد الإحكام، ثم يتوقف البحث بعد ذلك.

تجد نظم الإحكام الذاتي مجالات واسعة في التطبيق. فمن الملائم جداً بعد هذا أن يكون لدينا نظام يُحكم ذاته، ولا يحتاج إلى مراقبة العامل البشري. غير أن الملاءمة ليست هي الاعتبار المهم هنا، فنظم كهذه تستخدم في التطبيقات العملية التي يشكل فيها العامل البشري رابطة ضعيفة في النظام ولا يكون قادراً على ضمان العمل الطبيعي له بسبب محدودية قدراته. أحياناً يكون من الضرورة المطلقة استخدام نظام إحكام ذاتي، خاصة في مواقف تتغير فيها الظروف والشروط بسرعة هائلة بحيث لا يستطيع الإنسان ملاحقتها. بغض النظر عن هذا، فليس إحكام الآلات مثيراً إثارة خاصة، لأن تحرير الإنسان من مثل هذا العمل الروتيني الممل هو هدف عظيم ونبيل.

مع هذا، وفي حالات كثيرة، تصبح مشكلة ضبط النظم الكبرى ـ كخط إنتاج كامل مثلاً ـ معقدة للغاية، وتتطلب عدداً كبيراً من الاختصاصيين لحلها. وفي مثل تلك الحالة يحمل الإحكام كل علامات عملية الخلق، ولأتمتته (أي جعله أوتوماتيكياً) علينا أن نكون قادرين على مشابهة أوجهه الإبداعية. ونستطيع أن نفعل هذا فقط إذا فهمنا طريقة هذه العملية الإبداعية. هكذا ترتبط إشكالية الأتمتة بإشكاليات الخلق، فيكون حلها هو الخطوة الأولى نحو أتمتة عمليات الخلق والإبداع.

لتلخيص هذا الفصل يتعين أن نلاحظ أن الطريقة التي وصفناها لأتمتة إحكام نظام ما، لها محدوديتها. فالنظام المراد إحكامه، يميل لأن يصبح في حالة عمل كامل مثالي (على الرغم من أنه لا

يصلها أبداً عند الممارسة العملية في الغالب)، ولهذا لا يمكن أن يصبح أبداً أفضل من نقطة مثاليته. غير أنه ظهر في السنوات الأخيرة نوع جديد من النظم التي تُدعى **نُظم الإحكام الذاتي التي لا تمتلك** محدودية التحسن تلك، وإنما لها قدرة الكائن الحي على تحسين خصائصها بلا توقف.

لكن هذه قصة أخرى.

الخاتمة

وصلنا الآن إلى نهاية رحلتنا حول عالم الصدفة ذي الأبعاد الثلاثة. والآن، بعد أن نزيل التراب العالق بأقدامنا، نستطيع أن نقول لأنفسنا بأنها لم تكن رحلة سهلة.

كرّسنا النصف الأول من الرحلة لهزيمة المعاندات والمصاعب التي تلقيها المصادفة أمامنا، معطلةً أي نوع من النشاط القصدي. وهذا النزوع الهدام للمصادفة هو أحد أوجه القانون الثاني للديناميكا الحرارية: القانون الذي يعبر عن الجانب السلبي لعالمنا. ورأينا أن الدفاع الوحيد المتاح ضد الفوضى الناتجة عن الصدفة هو التحكم، والسبرنيتية هي ذلك العلم الذي يدرس قوانين التحكم، وهي العلم الذي يكافح الفوضى.

في الخمس وعشرين عاماً الأولى التي قطعتها السبرنيتية، طوّرت مناهج ووسائل فعالة لهزيمة المصادفة، وطرقاً محددة لسحق وتحطيم عوائقها في طريق المعرفة. لكن ذلك لم يكن الطريق الوحيد الذي في يدنا للتعامل معها، فلقد طورنا وسائل للتعايش السلمي معها، وسائل جعلتنا نعمل بفعالية على الرغم من تدخلها المتواصل.

في النصف الثاني من رحلتنا حول عالم الصدفة، أخذت الأشياء مسحتها الوردية. هنا تقدمت المصادفة لتأخذ دوراً إيجابياً غير عادي. لقد تعلمنا كيف يستخدمها الإنسان في نشاطاته العملية، ورأينا أن طريقة مونت كارلو التي كانت مجرد مكان لنوادي القمار في موناكو، هي أداة مليئة بالقدرة على حل مشاكلنا العملية المهمة جداً. أدركنا بأنفسنا أن المصادفة في مواقف اللعب أخذت اهتماماً كبيراً، لأنها لا تسمح لأي معارض أن يتقدم بيقين، وهكذا تقلل فرص ربحه.

اطلعنا أيضاً على النظرية الإحصائية (نظرية الاحتمالات) المتعلقة ببنية الدماغ العشوائية، وهي فرضية جسورة تقول إن تركيب الجهاز العصبي هو تركيب عشوائي إلى حد كبير، وإن سلوكه العقلاني مؤسس على وجود المنعكسات الشرطية التي تتكون من خلال عملية التوجيه والتوجيه الذاتي، والتي يلعب فيها عنصر المصادفة دوراً ضرورياً.

حللنا عمل «المدرك» تلك الآلة المميزة التي تمتلك موهبة التعرف على كل أنواع الأشكال المرئية، وعرفنا أن عنصر المصادفة المتضمن باتساع في تركيبه هو المسئول لدرجة كبيرة عن قدراته.

للمصادفة أهمية قصوى أيضاً في الطبيعة الحية. فعمليات تطور وتحسن الكائنات الحية بآلية الانتقاء الطبيعي، تحدث فقط لأن الطفرات العشوائية تُنتج داخل الكائن تغيرات حادثية يتم تأبيدها وتثبيتها في الأجيال المتتابعة عبر الوراثة. ثم درسنا أول آلة ميكانيكية تستخدم البحث العشوائي تسمى

بالمثبت (أو المتّبّب)، وفهمنا مدى تشابهها مع آلية الانتقاء الطبيعي. إنَّ المادة الخام لمعزز التفكير المجرد هي وجود الضوضاء، واكتشفنا أن الرسم التخطيطي للمعزز هو صورة طبق الأصل لعمليات الاصطفاء الطبيعي التي استخدمها الإنسان طويلاً جداً.

أخيراً درسنا الطرق المختلفة لإحكام النظم المعقدة، ورأينا أن طريقة البحث العشوائي تمتلك مزايا عدة عن طرق البحث النظامية.

هذا ولا تزال دراسة العالم المميز للمصادفة والفوضى في بدايتها. فالعلم لم يقم إلا بقشد سطح هذا العالم، عالم الحوادث الغريبة والإمكانيات اللامحدودة. لكن التنقيب عن خزائن المصادفة النفيسة قد بدأ. وليس هناك قول يكشف لنا أي غنىً تخفيه، بيد أن هناك شيئاً مؤكداً واحداً: سيكون علينا أن نتعود على التفكير في المصادفة، لا كعائق مزعج، ولا كمجرد زائدة غير ضرورية للظواهر - كما عرَّفها القاموس الفلسفي - وإنما كنبع لإمكانيات لا تُحد، بل لإمكانيات لا يستطيع أي خيال جامح أن يكون له علم مسبق بها.

الفهرس

ما هي المصادفة؟ سؤال تمهيدي 5

الجزء الأول: المصادفة/العائق **19**

1 ـ المصادفة في مهد السبرنيتية 20

2 ـ التحكم 23

3 ـ تاريخ التحكم 34

4 ـ المعركة مع تدخل المصادفة 46

5 ـ البدائل، المخاطرة، القرار 70

الجزء الثاني: مرحباً بالمصادفة **83**

1 ـ شرلوك هولمز يكشف عقله أخيراً 84

2 ـ طريقة «مونت كارلو» 88

3 ـ المصادفة في الألعاب 98

4 ـ التعلم، المنعكسات الشرطية والمصادفة 103

5 ـ المصادفة والتّعرف 115

6 ـ المصادفة، الانتقاء والتطور 128

7 ـ الإحكام الذاتي 137

8 ـ البحث: المسارات والانحرافات 147

الخاتمة **157**

المؤلف :

د. ليونارد راستريغين هو عالم السبرنيتية الروسي المشهور، وكان أول مسئول عن أول معمل لدراسة العشوائية وبحث الفوضى في العالم، وتقديم مزاياها في التطبيقات العملية. لقد تحول مئة وثمانين درجة من دكتوراه في الميكانيكا وتصميم الطائرات إلى أستاذ في علوم التحكم. ففي سنوات قليلة قدم عدداً من الكتب وأكثر من مئة بحث علمي مطبوع في هذا المجال، ويعتبر راستريغين رائداً عالمياً من رواد السبرنيتية الآن.

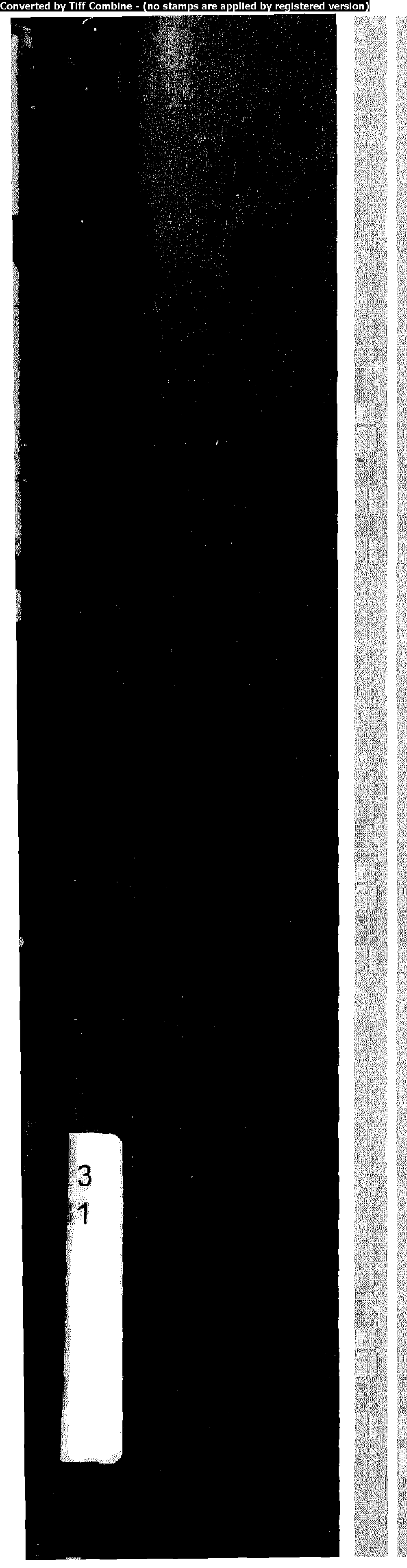
المترجم :

د. عبد الهادي عبد الرحمن، طبيب وكاتب عربي من مصر له عديد من المؤلفات والتراجم والأبحاث، منها جذور الثورة الإسلامية: قراءة نقدية لتاريخ الدعوة الإسلامية، دار الطليعة، بيروت. سلطة النص: قراءات في توظيف النص الديني، المركز الثقافي العربي، المغرب. التاريخ والأسطورة، دار الطليعة. سحر الرمز: مختارات في الرمز الأسطورة، دار الحوار، سوريا. سيكولوجية الانفصال. العنف والإنسان (ترجمتان) دار الطليعة. تاريخ الجماعات السرية. السحر في مصر القديمة، دار تانيت الرباط. وروايات مثل الزمن المر - البوابة - المخالب والفريسة (الجزائر)، لعبة الرجال الذين قالوا نعم (دار عروة مصر)، وعديد من الأبحاث والمقالات والقصص التي نشرت بالجرائد والدوريات العربية.

1000 /95 /1195

مطبعة دار الكتب ساحة رياض الصلح بناية اللعازارية تلفون: ٦٤٥٠٣٩ (٠١)





□ لو أردنا أن نتحدث عن مبدأ «معقول» ما في الطبيعة، فإنه سيكون المصادفة ولا شيء غير المصادفة. فنحن نعيش في عالم تحكمه الصدفة؛ عالم لا يُمكن التيقّن فيه من شيء أبداً.

□ ولئن كانت المصادفة تلعب دوراً سلبياً وغالباً ما يكون مدمِّراً، فتخلق المصاعب للإنسان وتتدخل في حياته وتعيق التقدم عموماً، إلا أنه ينبغي لنا أن نتعود على التفكير في المصادفة لا كعائق مزعج أو مجرد «زائدة» غير ضرورية - كما يعرّفها الفلاسفة - وإنما كنبع لإمكانيات لا حصر لها، ولاحتمالات لا يستطيع أي خيال جامح أن يدركها. فهي قد تكون عمياء وقد تكون نافذة البصيرة حادّة الذكاء. إنها تدمِّر حتماً، ولكنها تخلق أيضاً. تُسبِّب الأسى بالضبط كما تبعث المسرّة. تعيق طبعاً، لكنها تعين في الوقت نفسه.

□ في هذا الكتاب النادر المثيل، يغوص عالم السبرنيتية الروسي ليونارد راستريغين في ذلك العالم المجبول بالفوضى والعشوائية واللاانتظام ليكشف لنا عن آليات عمل المصادفة والتحكّم في الأساطير والألعاب وصالات القمار وبارات المدينة وقصص الأطفال الخرافية... وفي الحروب والجرائم والصناعات.. كما في الكائنات الحيّة والتطور والطب... إلى آخره. وكل ذلك بأسلوب سهل وممتع، حتى إذا انتهى القارىء منه، اكتشف أن الجرعة العلمية التي قدّمها له كانت دسمة بحق، وشيّقة أيضاً.

الطليعة للطباعة والنشر
بيروت